

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**Саровский физико-технический институт -**  
филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего  
образования «Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»  
**(СарФТИ НИЯУ МИФИ)**

ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

**УТВЕРЖДАЮ:**

Декан факультета ФТФ

\_\_\_\_\_ А.К.Чернышев

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**  
**СИЛЬНОТОЧНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА**

---

**Для групп ФТФ 1-го курса магистратуры**

**Направление:** 03.04.01 Прикладные математика и физика

**Специализация / профиль подготовки:** Электрофизика,

Физика фундаментальных взаимодействий

**Квалификация (степень) выпускника:** магистр

**Форма обучения:** очная

Автор Китаев И.Н., преподаватель-почасовик кафедры ЭФ

Программа одобрена  
на заседании кафедры ядерной и радиационной  
физики  
от 31.08.21 протокол №2

Заведующий кафедрой ЯРФ

\_\_\_\_\_ Н.В. Завьялов

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и ОС НИЯУ МИФИ  
(актуализирован Ученым советом университета, Протокол №21/11 от 27.07.2021 г)

г. Саров, 2021 г.

## **1. ЦЕЛИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целью курса является обеспечение базовой подготовки в области сильноточной электроники, особенно в части ее применений к мощным импульсным устройствам для научных исследований и технологических применений. Особое внимание уделяется физическим основам коммутации больших мощностей магнитными ключами, полупроводниковыми приборами на основе рп-перехода и схемотехнике генераторов с твердотельной системой коммутации в микро- и наносекундном диапазонах. Кратко обсуждаются вопросы, связанные с генераторами на основе искровых разрядников и тиратронах.

## **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО**

Курс опирается на материал следующих дисциплин, читаемых студентам физико-технических специальностей: теоретические основы электротехники, уравнения математической физики, электродинамика, физика плазмы, квантовая механика, сильноточная электроника.

Для успешного освоения дисциплины необходимо знание учащимися курсов высшей математики и общей физики. Предполагается знание материала, входящего в учебный план обучения бакалавра классического университета по направлению подготовки – физика. Необходимо иметь начальные навыки обращения с чертежами и электронными схемами. Обладать знанием основ электроники, приборов и методов исследования электрофизических процессов.

## **3. КОМПЕТЕНЦИИ СТУДЕНТА, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ).**

ПК-13.1 способен к обеспечению безопасности при проведении работ на ядерно-физических и электрофизических установках, с делящимися материалами, радиоактивными веществами и радиоактивными отходами

ПК-13.2 способен к проведению испытаний согласно техническим требованиям, анализу характеристик испытываемого изделия, а также к подготовке аналитической документации испытаний

**В результате освоения дисциплины студент должен:**

**Знать:**

З-ПК-13.1 федеральные нормы и правила, отраслевые нормативные документы по ядерной и радиационной безопасности, электробезопасности и охране труда при эксплуатации исследовательских ядерных и электрофизических установок – источников излучения, высоковольтного и измерительного оборудования; технические характеристики установок и оборудования; технологические регламенты безопасной эксплуатации установок и оборудования

З-ПК-13.2 Метрологию, стандартизацию и сертификацию в атомной отрасли, методы и средства автоматизации выполнения испытаний; порядок разработки и оформления технологической, методической документации для подготовки и проведения испытаний, отчетной документации по результатам выполненных исследований

**В том числе:**

- принципы коммутации и классификацию современных высокочастотных электронных ключей, обеспечивающих быструю коммутацию больших мощностей, их коммутационные характеристики, особенности конструкции и управления.

**Уметь:**

У-ПК-13.1 анализировать научно-техническую информацию по теме исследований, в том числе для организации контроля за техническим состоянием установок и оборудования; средств измерений, контроля, управления и автоматики, обеспечивающих безопасную эксплуатацию установок и стендов

У-ПК-13.2 Оценивать научно-технический уровень достигнутых результатов

**В том числе:**

- уметь оценивать выходные параметры импульсных генераторов на заданной нагрузке.

**Владеть:**

В-ПК-13.1 навыками разработки планов перспективных исследований по инновационным ядерным технологиям и мероприятий по обеспечению ядерной безопасности планируемых работ

В-ПК-13.2 навыками анализа и обобщения результатов выполненных научно-технических исследований и разработок, включая разработку методик выполнения измерений, испытаний и контроля работоспособности основных подсистем и узлов испытательного оборудования и применяемых средств измерений; а также анализ результатов, полученных в результате испытаний изделий (объектов испытания)

**В том числе:**

- владеть представлениями об основных схмотехнических решениях для высоковольтных импульсных генераторов большой мощности на основе изученных коммутаторов.

**4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Основной формой изложения материала курса являются семинары..  
Предлагается ряд задач, часть из которых решается на занятии с подробным обсуждением метода и полученных результатов. Остальные задачи студент решает самостоятельно: предусмотрено выполнение контрольных самостоятельных работ, рефератов.

№ п/п	Раздел учебной дисциплины	неделю	Виды учебной деятельности, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Текущий контроль успеваемости (неделя, форма)	Аттестация Раздела (неделя, форма)	Максимальный балл за раздел*
			лекции и	Прак. занятия/семинары	Лаб. работы			
2 семестр								
1	Силовая импульсная электроника.			2		1, УО	2, КСР	9
2	Газоразрядные			1		3, УО	4, ИФ,	9

	ключи.							
3	Тиратроны.			2		5, УО	6, КСР	10
4	Генераторы газоразрядной системы коммутации в нано- и пикосекундном диапазонах.	с		1		7, УО	8, ИФ,	9
5	Коммутация помощью управляющего плазменного слоя.	с		2+2		9, УО	10, КСР	9
6	Коммутация помощью задержанной ударно-ионизационной и туннельно-ионизационной волны в полупроводниках.	с и в		1		11, УО	12, ИФ,	10
7	Динамические характеристики ферро(ферри)магнитных сердечников.			2+2		13, УО	14, КСР	9
8	Генераторы твердотельной системы коммутации микро-наносекундном диапазонах.	с в и		1		15, УО	16, ИФ	10
ВСЕГО								<b>75</b>
ЗАЧЕТ								<b>25</b>
Итого за 2 семестр								<b>100</b>

**Структура курса:** Количество семестров – 1 (2 семестр).

**Объем:** общее количество часов ~16 часов

семинары – 16 часов, 4 часа в интерактивной форме

### План семинарских занятий

#### Тема 1.

Силовая импульсная электроника. Схемотехника мощных импульсных генераторов. Сильноточная электроника. Высоковольтные замыкающие и размыкающие ключи.

#### Тема 2

Газоразрядные ключи. Пробой в газоразрядных ключах. Искровые разрядники.

#### Тема 3

Тиратроны. Псевдоискровой разряд. Тиратроны с холодным катодом.

#### **Тема 4**

Генераторы с газоразрядной системой коммутации в нано- и пикосекундном диапазонах.

#### **Тема 5**

Коммутация с помощью управляющего плазменного слоя. Диод с накоплением заряда. Дрейфовый диод с резким восстановлением. Диоды, работающие в режиме наносекундного обрыва сверхплотного тока – SOS-диоды.

#### **Тема 6**

Коммутация с помощью задержанной ударно-ионизационной и туннельно-ионизационной волны в полупроводниках. Реверсивно-включаемый динистор.

#### **Тема 7**

Динамические характеристики ферро(ферри)магнитных сердечников. Основы магнитной коммутации. Магнитные материалы, применяемые в магнитных ключах.

#### **Тема 8**

Генераторы с твердотельной системой коммутации в микро- и наносекундном диапазонах.

### **Самостоятельная работа студентов**

#### **Ориентировочные темы рефератов:**

1. Реферат. «Статический пробой газов. Импульсный пробой газов. Формирование искрового разряда».
2. Реферат. «Природа ферромагнетизма. Антиферромагнетики и ферриты».
3. Реферат. «Причины образования доменов. Кристаллы и направления легкого намагничивания».
4. Реферат. «Процесс намагничивания ферромагнетиков.  $\bar{B}$  и  $\bar{H}$  в ферромагнетиках».
5. Реферат. «Энергетические зоны в полупроводниках, диэлектриках и металлах».
6. Реферат. «Переход электронов через запрещенную зону. Собственная электронная и дырочная электропроводность. Ток дрейфа».

7. Реферат. «Примесные полупроводники и примесная электропроводность. Диффузия носителей заряда в полупроводниках».
8. Реферат. «Электронно-дырочный переход при отсутствии внешнего напряжения. Переход металл-полупроводник».
9. Реферат. «Электронно-дырочный переход при прямом и обратном напряжении».
10. Реферат. «Работа диода в импульсном режиме. Диод с накоплением заряда».

### **Примерные задачи на контрольные самостоятельные работы:**

#### **Задача 1.**

Определить максимальное напряжение на обмотке дросселя и время его достижения до перехода сердечника в насыщенное состояние.

#### **Задача 2.**

Вычислить индуктивность дросселя в насыщенном состоянии.

#### **Задача 3.**

Найти выражение для удельных потерь в материале сердечника дросселя при его перемагничивании.

#### **Задача 4.**

Вычислить критическую (допустимую) скорость нарастания тока на реверсивно-включаемом динисторе с рабочей площадью  $20 \text{ см}^2$ .

#### **Задача 5.**

Вычислить длительность импульса накачки дрейфового диода с резким восстановлением с рабочим напряжением  $1,5 \text{ кВ}$  ( $N_d = 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ).

#### **Задача 6.**

На качественном уровне определить в какой из областей полупроводниковой структуры SOS-диода начинается процесс обрыва тока. Сравнить с процессом обрыва тока в РВД, и объяснить различие в коммутационных характеристиках этих коммутаторов.

#### **Задача 7.**

Оценить возможность создания перенапряженной области в реальном p-n-переходе с током утечки  $J_0$ .

### **Задача 8.**

Вычислить величину «сильного» тормозящего поля для быстродействующего кремниевго диода ( $\tau_p \approx 10^{-9}$  сек) и диффузионного германиевого диода ( $\tau_p \approx 10^{-5}$  сек), где  $\tau_p$  - время жизни дырок в базе

## **5. ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ИТОГАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.**

### **Формы контроля:**

Промежуточный контроль: контрольные самостоятельные работы

Итоговый контроль: ЗАЧЕТ

### **Вопросы к зачету**

1. Объем сердечника дросселя и коэффициент сжатия первых звеньев.
2. Принцип действия магнитного генератора на примере однозвенной схемы.
3. Основные типы магнитного состояния вещества. магнитные материалы для насыщающихся дросселей.
4. 1-я и 2-я гипотезы Вейсса, объясняющие ферромагнетизм. Причины образования доменов.
5. Кривая намагничивания. Физические процессы, соответствующие основным участкам изменения намагниченности.
6. Электрические параметры дросселей. Индуктивность и магнитная проницаемость в насыщенном состоянии. Требования, предъявляемые к сердечникам магнитных генераторов.
7. Влияние вихревых токов и магнитной вязкости на характеристику намагничивания. Коэффициент переключения.
8. Магнитные материалы для насыщающихся дросселей. Выбор типа материала в зависимости от времени перемагничивания.
9. Выходное звено с формирующей линией. Формирование импульса в нагрузке. Коэффициент сжатия последнего звена



10. Объем сердечника дросселя последнего звена, содержащего формирующую линию.

## **6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

### **Основная литература:**

1. Туркевич В.М., Грехов И.В. Новые принципы коммутации больших мощностей полупроводниковыми приборами. Л.: Наука. 1988. С. 117
2. Еремин С.А., Мокеев О.К., Носов Ю.Р. Полупроводниковые приборы с накоплением заряда и их применение. М.: Советское радио. 1966. С. 217
3. Меерович Л.А. и др. Магнитные генераторы импульсов. М.: Советское радио. 1968. С. 474.
4. Х. Блум. Схемотехника и применение мощных импульсных устройств. М.: Изд. дом «Додека-XXI». 2008. С. 352.
5. Зильберман Г.Е. Электричество и магнетизм. Долгопрудный: Изд. дом «Интеллект». 2008. С. 376.
6. Жеребцов И.П. Основы электроники. Л.: Энергоатомиздат. 1985. С 352.

### **Дополнительная литература:**

1. Месяц Г.А., Яландин М.И. Пикосекундная электроника больших мощностей. УФН. 2005. Том 175. №3. С. 225-245.
2. Рукин С.А. Генераторы мощных наносекундных импульсов с полупроводниковыми прерывателями тока. ПТЭ. 1999. №4. С. 5-36.
3. Мешков А.Н. Магнитные генераторы мощных наносекундных импульсов. ПТЭ. 1990. №1. С. 23-36.
4. Аристов Ю.В., Воронков В.Б., Грехов И.В. и др. Мощный полупроводниковый переключатель высоковольтных импульсов с наносекундным фронтом нарастания. ПТЭ. 2007. №2. С. 87-90.
5. Ebert U., Hundsdorfer W., Grekhov I., Rodin P.. Superfast fronts of impact ionization in semiconductor structures. Journal of Applied Physics. 2002. V. 92. №4. P. 1971-1980.

## **Лист регистрации изменений**