

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет
им. Н.И. Лобачевского»**

Физический факультет

Кафедра физики полупроводников, электроники и наноэлектроники

УТВЕРЖДЕНО
решением ученого совета ННГУ
протокол № 6 от «31» мая 2023 г.

**Рабочая программа дисциплины
«Теория и расчёт твердотельных активных элементов»**

Уровень высшего образования
Бакалавриат

Направление подготовки
11.03.04 «Электроника и наноэлектроника»

Квалификация (степень) выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Нижний Новгород, 2023

1. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина "Теория и расчёт твердотельных активных элементов" относится к выборным дисциплинам формируемой участниками образовательных отношений части основной образовательной программы по направлению подготовки 11.03.04 "Электроника и наноэлектроника". Данная дисциплина преподаётся в восьмом семестре. Для усвоения курса "Теория и расчёт твердотельных активных элементов" необходимы знания, полученные при изучении таких дисциплин, как «Математический анализ», «Векторный и тензорный анализ», «Методы математической физики», «Теоретические основы электро- и радиотехники», "Физика полупроводников", «Схемотехника». Всестороннее овладение данной дисциплиной является необходимым условием для последующего изучения студентами таких дисциплин, как, «Основы проектирования компонентной базы», «Моделирование и проектирование микро- и наносистем (в т.ч. САПР)», «Конструирование микро- и наносистем».

Целями освоения дисциплины " Теория и расчёт твердотельных активных элементов " являются следующие.

- Изучение физических основ теории цепей, принципов построения составных схем из отдельных элементов, способов анализа активности, пассивности, устойчивости, абсолютной устойчивости квазилинейных аналоговых устройств.
- Формирование у студентов умений и навыков, необходимых для оптимизации схемотехники и конструкции приборов наноэлектроники.
- Получение углубленного профессионального образования по схемотехнике электронной компонентной базы, обеспечивающего возможность быстрого и самостоятельного приобретения новых знаний, необходимых для успешной профессиональной деятельности в области микро- и наноэлектроники.
- Выработка систематического подхода к анализу работы твердотельных устройств в линейном или квазилинейном режиме, характерном для аналоговой микросхемотехники.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями и индикаторами достижения компетенций)

Формируемые компетенции (код, содержание компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), в соответствии с индикатором достижения компетенции		Наименование оценочного средства
	Индикатор достижения компетенции (код, содержание индикатора)	Результаты обучения по дисциплине	
ПК-1. Способен применять фундаментальные представления о физических явлениях для достижения требуемых функциональных качеств приборов, схем и устройств электроники и наноэлектроники	ПК-1.1. Знает физические явления и процессы, лежащие в основе работы приборов и устройств электроники и наноэлектроники. ПК-1.2. Умеет применять фундаментальные представления о физических явлениях	Знать фундаментальные представления о физических явлениях для достижения требуемых функциональных качеств приборов, схем и устройств электроники и наноэлектроники. Уметь применять фундаментальные представления о физических явлениях для достижения требуемых функциональных	Вопросы по темам/разделам дисциплины. Комплект задач и заданий к лабораторному практикуму или семинарским занятиям.

	и процессах для достижения требуемых функциональных качеств приборов и устройств электроники и наноэлектроники	качеств приборов, схем и устройств электроники и наноэлектроники. Владеть способностью применять фундаментальные представления о физических явлениях для достижения требуемых функциональных качеств приборов, схем и устройств электроники и наноэлектроники	Фонд тестовых заданий
ПК-2. Способен строить физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования, проектирования и конструирования	ПК-2.1. Знает принципы конструирования отдельных аналоговых блоков электронных приборов ПК-2.2. Умеет строить физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения ПК-2.3. Владеет навыками использования стандартных программных средств их компьютерного моделирования и проектирования	Знать простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения. Уметь использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения. Владеть способностью строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования.	Вопросы по темам/разделам дисциплины. Комплект задач и заданий к лабораторному практикуму или семинарским занятиям. Фонд тестовых заданий

3. Структура и содержание дисциплины "Теория и расчёт твердотельных активных элементов"

3.1 Трудоемкость дисциплины

Общая трудоемкость	2 ЗЕТ
Часов по учебному плану	72
в том числе	
аудиторные занятия (контактная работа):	
- занятия лекционного типа	32
- занятия семинарского типа	16
- контроль самостоятельной работы	1
самостоятельная работа	23 (работа в семестре)
Промежуточная аттестация	7 семестр – зачет

3.2. Содержание дисциплины

Раздел Дисциплины	Всего (часы)	В том числе					
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем), часы из них					Самостоятельная работа обучающегося, часы
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	Занятия лабораторного типа	Консультации	Всего	
1. Введение Применение преобразования Лапласа для анализа линейных схем Многополюсники	8	6	3	-	-	9	4
2. Преобразование трехполюсников	10	6	3	-	-	9	4
3. Свойства трехполюсников.	10	6	3	-	-	9	4
4. Примеры важных трехполюсников.	8	4	2	-	-	6	2
5. Общие свойства электрических цепей.	12	4	2	-	-	6	4
6. Обратная связь	8	4	2	-	-	6	2
7. Основные классы линейных интегральных схем	8	2	1	-	-	3	3
Итого		32	16			48	23

Практические занятия (семинарские занятия /лабораторные работы) организуются, в том числе в форме практической подготовки, которая предусматривает участие обучающихся в выполнении отдельных элементов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью.

Практическая подготовка предусматривает: решение прикладной задачи кейса - по профилю профессиональной деятельности и направленности образовательной программы.

На проведение практических занятий (семинарских занятий /лабораторных работ) в форме практической подготовки отводится 23 часов.

Практическая подготовка направлена на формирование и развитие:

- практических навыков в соответствии с профилем ОП: выбор методик и средств решения задачи, использование физических эффектов при разработке новых методов исследований;

- компетенции - ПК-1. Способность применять фундаментальные представления о физических явлениях для достижения требуемых функциональных качеств приборов, схем и устройств электроники и наноэлектроники;

- компетенции - ПК-2. Способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования.

Текущий контроль успеваемости реализуется в рамках занятий семинарского типа, групповых или индивидуальных консультаций.

4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов предусматривает выполнение домашних заданий, решение задач, изучение рекомендованной литературы и подготовку к зачету.

Оценочные средства для контроля текущей успеваемости включают в себя устный опрос на занятиях в процессе решения выше приведенных задач, активность в обсуждении качественных вопросов и задач на практических занятиях.

Контрольные вопросы и задания для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины приведены в п. 5.2.

Для обеспечения самостоятельной работы обучающихся используется электронный курс конспектов лекций «Теория и расчёт твердотельных активных элементов», созданный в системе электронного обучения ННГУ - <https://e-learning.unn.ru/>.

5. Фонд оценочных средств для промежуточной аттестации по дисциплине (модулю),

включающий:

5.1. Описание шкал оценивания результатов обучения по дисциплине

Уровень сформированности компетенций (индикатора достижения компетенций)	Шкала оценивания сформированности компетенций						
	плохо	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	очень хорошо	отлично	превосходно
	не зачтено		зачтено				
<u>Знания</u>	Отсутствие знаний теоретического материала. Невозможность оценить полноту знаний вследствие отказа обучающегося от ответа	Уровень знаний ниже минимальных требований. Имели место грубые ошибки.	Минимально допустимый уровень знаний. Допущено много негрубых ошибок.	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько негрубых ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки. Допущено несколько незначительных ошибок	Уровень знаний в объеме, соответствующем программе подготовки, без ошибок.	Уровень знаний в объеме, превышающем программу подготовки.
<u>Умения</u>	Отсутствие минимальных умений . Невозможность оценить наличие умений вследствие отказа обучающегося	При решении стандартных задач не продемонстрированы основные умения. Имели место грубые	Продemonстрированы основные умения. Решены типовые задачи с негрубыми ошибками. Выполнены	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи с негрубыми ошибками. Выполнены	Продemonстрированы все основные умения. Решены все основные задачи . Выполнены все задания, в полном	Продemonстрированы все основные умения, решены все основные задачи с отдельными незначительными	Продemonстрированы все основные умения,. Решены все основные задачи. Выполнены все задания,

	я от ответа	ошибки.	все задания но не в полном объеме.	все задания, в полном объеме, но некоторые с недочетами.	объеме, но некоторые с недочетами.	недочетами, выполнены все задания в полном объеме.	в полном объеме без недочетов
<u>Навыки</u>	Отсутствие владения материалом. Невозможность оценить наличие навыков вследствие отказа обучающегося от ответа	При решении стандартных задач не продемонстрированы базовые навыки. Имели место грубые ошибки.	Имеется минимальный набор навыков для решения стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач с некоторыми недочетами	Продемонстрированы базовые навыки при решении стандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрированы навыки при решении нестандартных задач без ошибок и недочетов.	Продемонстрирован творческий подход к решению нестандартных задач

5.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения.

5.2.1 Контрольные вопросы

вопросы	Код формируемой компетенции
<p>1. Введение. Цели и задачи курса. Общий подход в анализе твердотельных схем и электрических цепей. Условие квазистационарности. Выделение сосредоточенных элементов: емкость, индуктивность, резистор. Применение преобразования Лапласа для анализа линейных схем. Обобщение законов Ома и Кирхгофа. Многополюсники. Соотношение между числом полюсов и уравнений для многополюсника. Линеаризация двух- и трехполюсников. Матрицы линейного трехполюсника. Системы параметров трехполюсника. Эквивалентные схемы.</p> <p>2. Преобразование трехполюсников. Поворот трехполюсника. Примеры для транзисторов и ламп. Соединение трехполюсников. Частный случай - соединение двух- и трехполюсников. Отражатель тока в операционных усилителях.</p> <p>3. Свойства трехполюсников. Соотношение между входными и выходными величинами. Коэффициенты усиления по току и напряжению. Входные и выходные сопротивления и проводимости. Физический смысл полных сопротивлений и проводимостей двухполюсника и элементов матрицы трехполюсника. Связь между собственными частотами и корнями характеристических уравнений двух- и трехполюсников. Характеристические полиномы и их связь с элементами матриц трехполюсника. Коэффициент усиления по мощности трехполюсника. Максимальный коэффициент усиления трехполюсника.</p> <p>4. Примеры важных трехполюсников. Электронная лампа и полевой транзистор как линейный усилитель. Биполярный транзистор как линейный усилитель. Операционный усилитель.</p> <p>5. Общие свойства электрических цепей. Обратимость трехполюсников. Обратимость и соединение трехполюсников. Пример идеального гиратора. Устойчивость. Определение устойчивости. Критерий Рауса-Гурвица (без вывода). Примеры. Пассивность и активность. Определение. Критерий для двухполюсника. Теорема</p>	<p>ПК-1</p> <p>ПК-2</p>

Штурма. Критерий пассивности трехполосника. Коэффициент усиления по мощности и активности. Отрицательное сопротивление - активный двухполосник. Абсолютная устойчивость. Определение. Критерий для двух- и трехполосников. Соотношение между обратимостью и пассивностью; пассивностью, устойчивостью и абсолютной устойчивостью.	
6. Обратная связь. Определение элементов обратной связи в трехполоснике. Виды обратной связи. Нейтрализация внутренней обратной связи.	
7. Основные классы линейных интегральных схем. Особенности планарных биполярных структур для линейных интегральных схем. Примеры типичных интегральных структур. Полевые и униполярные транзисторы в интегральных схемах.	

5.2.2. Типовые тестовые задания для оценки сформированности компетенции ПК-1, ПК-2

На семинарских занятиях используются следующие контрольные вопросы.

ПК-1

1. Что дает линеаризация соотношений между токами и напряжениями для двух- и трехполосников, какие ограничения она накладывает на электрические сигналы?
2. Определите линеаризованное соотношение между токами и напряжением для вольт-амперной характеристики идеального диода

$$J = J_0 \cdot [e^{U/\varphi_T} - 1]$$

3. Что дает применение интегрального преобразования Лапласа при анализе твердотельных элементов, работающих в линейном режиме?
4. Перепишите в изображениях по Лапласу соотношение между током и напряжением для емкости

$$i = C \cdot \frac{de}{dt}$$

5. Что такое эквивалентная схема? Нарисуйте эквивалентную схему биполярного транзистора.

6. Объясните правило поворота трехполосника - переход от одного общего зажима к другому.

7. Дана низкочастотная матрица полевого транзистора с общим истоком и входным зажимом-затвором

$$[Y]_{\text{и}} = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ g_k & g_v \end{pmatrix}$$

где g_k - крутизна, g_v - выходная проводимость.

8. Найдите матрицу полевого транзистора в схеме с общим стоком и входным зажимом-затвором.

9. Как выражаются максимальный коэффициент передачи по току KIF и максимальный коэффициент передачи по напряжению KVF через элемент матрицы трехполосника?

10. Найти KIF и KVF биполярного транзистора в схеме с общей базой, если его матрица в системе Z-параметров имеет вид

$$\begin{pmatrix} r_3 + r_6 & r_6 \\ r_6 + ar_k & r_6 + r_k \end{pmatrix}$$

где $r_3=10$ Ом, $r_6=102$ Ом, $r_k=106$ Ом, $a=0,99$.

11. Можно ли считать, что максимальный коэффициент усиления по мощности равен произведению максимального коэффициента усиления по напряжению KVF на максимальный коэффициент усиления по току KIF?

12. Используя выражение для максимального коэффициента усиления по мощности

$$K_{pmax} = \frac{|Y_{21}|^2}{G_{11}G_{22}[2+2g_1-g_0-b_{02}-g_{01}]}$$

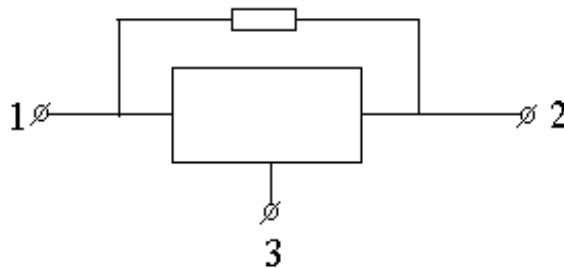
где $g_0 = \frac{G_{12}G_{21}-B_{12}B_{21}}{G_{11}G_{22}},$

$$b_0 = \frac{G_{12}B_{21}+G_{21}B_{12}}{2G_{11}G_{22}},$$

найти K_{pmax} для полевого транзистора, Y-матрица которого имеет вид

$$\begin{vmatrix} G_1 + sC_{3и} & 0 \\ g_k & g_b \end{vmatrix}$$

13. Объясните, каким образом изменяется матрица трехполюсника при присоединении двухполюсника к входному и выходному зажиму по схеме



14. Запишите, как изменится матрица полевого транзистора

$$[J]_{и} = \begin{vmatrix} 0 & 0 \\ g_k & g_b \end{vmatrix}$$

если учесть емкость затвор-исток. Какая здесь будет обратная связь, если она появится?

ПК-2

15. Дайте определение активности. Используя один из пунктов критерия пассивности

$$4 \cdot R_{11} \cdot R_{22} - (R_{12} + R_{21})^2 - (X_{12} - X_{21}) >= 0$$

покажите, что биполярный транзистор, описываемый матрицей в схеме с ОЭ

$$\begin{pmatrix} r_6 + r_3 & r_6 \\ r_6 + ar_k & r_6 + r_k \end{pmatrix}$$

является активным при $r_3=10$ Ом, $r_6=100$ Ом, $a=0,99$, $r_k=1$ МОм.

16. Объясните происхождение активности в диоде Ганна. Покажите, что для двухполюсника с N - образной вольтамперной характеристикой может нарушаться критерий пассивности. Назовите примеры нелинейных двухполюсников, которые могут быть активными. Нарисуйте эквивалентную схему туннельного диода.
17. Покажите, какие дополнительные элементы эквивалентных схем имеются у биполярных и полевых транзисторов в интегральных схемах.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

а) основная литература:

1. Пиан Л. Теория линейных активных цепей. -М.-Л.: Энергия, 1967 **3**
<http://www.lib.unn.ru/php/details.php?DocId=316650&DB=1>
2. Аваев Н.А., Наумов Р.Е., Фролкин В.Г. Основы микроэлектроники, -М.: Радио и связь, 1991 **25**
3. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника, -М.: ВШ, 1991 **4**
4. Зи С.М. Физика полупроводниковых приборов, -М.: Мир, 1984 **12**
<http://www.lib.unn.ru/php/catalog.php?Index=0&IdField=135407373&DB=1>
http://phys.unn.ru/library_dl.asp?fn=Sze_2.djvu
<http://www.ph4s.ru/books/poluprov/zi-fizikapolupr.rar>

б) дополнительная литература:

1. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. -М.: Энергия, 1973 **32**

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:

<http://www.lib.unn.ru/> - Фундаментальная библиотека ННГУ
<http://studentlibrary.ru> - Студенческая электронная библиотека
<https://biblio-online.ru/> - Электронная библиотека Юрайт
<https://e.lanbook.com/> - Электронно-библиотечная система изд. «Лань»
<http://biblioclub.ru> – Университетская библиотека ONLINE
<http://phys.unn.ru/library.asp> - Электронная библиотека ФзФ ННГУ
<http://www.studmed.ru> - Учебно-методическая литература для студентов
<http://www.twirpx.com> - Общедоступный сайт www.twirpx.com
<http://www.rfbr.ru> – Библиотека РФФИ

7. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Помещения представляют собой учебные аудитории для проведения учебных занятий, предусмотренных программой, оснащенные оборудованием и техническими средствами обучения: специализированной мебелью, меловыми или магнитно-маркерными досками для представления учебной информации большой аудитории.

Помещения для самостоятельной работы обучающихся оснащены компьютерной техникой с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечены доступом в электронную информационно-образовательную среду.

Программа составлена в соответствии с требованиями установленного ННГУ образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 11.03.04 "Электроника и наноэлектроника".

Автор:

д.ф.-м.н., проф. кафедры физики полупроводников,
электроники и наноэлектроники

Демидов Е.С.

Рецензент:
Заведующий кафедрой
теоретической физики, д.ф.-м.н.

В. А. Бурдов

Заведующий кафедрой
физики полупроводников, электроники
и нанoeлектроники д.ф.-м.н. профессор

Д. А. Павлов

Программа одобрена на заседании Учебно-методической комиссии физического факультета
ННГУ, протокол б/н от «20» мая 2023 г.

Председатель Учебно-методической комиссии
физического факультета ННГУ

А.А. Перов