

СИЛАБУС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

1. Загальна інформація про навчальну дисципліну

Повна назва навчальної дисципліни	Твердотільна електроніка
Повна офіційна назва закладу вищої освіти	Сумський державний університет
Повна назва структурного підрозділу	Факультет електроніки та інформаційних технологій. Кафедра електроніки та комп'ютерної техніки
Розробник(и)	Опанасюк Анатолій Сергійович
Рівень вищої освіти	Перший рівень вищої освіти, НРК – 6 рівень, QF-LLL – 6 рівень, FQ-EHEA – перший цикл
Семестр вивчення навчальної дисципліни	16 тижнів протягом 4-го семестру, 16 тижнів протягом 5-го семестру
Обсяг навчальної дисципліни	Для денної форми навчання обсяг навчальної дисципліни становить 10 кредитів ЄКТС, 300 годин, з яких 128 годин становить контактна робота з викладачем (64 години лекцій, 32 години лабораторних робіт, 32 години практичних занять), 142 години становить самостійна робота. Курсова робота 30 годин.
Мова викладання	Українська

2. Місце навчальної дисципліни в освітній програмі

Статус дисципліни	Обов'язкова навчальна дисципліна для всіх освітніх програм спеціальності 171 "Електроніка"
Передумови для вивчення дисципліни	Передумови для вивчення відсутні
Додаткові умови	Загальна фізика, Вища математика, Основи електротехніки і електроніки
Обмеження	Обмеження відсутні

3. Мета навчальної дисципліни

Метою вивчення дисципліни є формування у студентів компетенцій та системи спеціальних знань в області напівпровідникових приладів, мікросхемотехніки, електронного приладобудування, здатності використовувати ці знання при розробці елементної бази сучасної електроніки, налагодженні та експлуатації електронних систем і компонентів.

4. Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1. Елементи фізики напівпровідників. Електронно-дірковий перехід і процеси в ньому

Тема 1 Вступ. Предмет і завдання дисципліни.

Предмет і завдання дисципліни. Напрями та етапи розвитку електроніки. Основні матеріали напівпровідникової техніки. Класифікація пристроїв електроніки за класами, видом енергії, що діє на вході і виході, способом формування і передачі сигналу. Напівпровідники. Класифікація напівпровідникових матеріалів. Елементарні напівпровідники IV підгрупи періодичної системи. Сполуки A3B5 та A2B6. Інші напівпровідникові матеріали. Їх властивості.

Тема 2 Елементи фізики напівпровідників.

Монокристали, їх кристалічна гратка. Дефекти у кристалах. Зонна структура напівпровідників. Власна і домішкова провідність. Ефективна маса носіїв заряду. Статистика електронів і дірок у напівпровідниках. Залежність положення рівня Фермі від температури. Вплив температури на рухливість носіїв заряду. Нерівноважні носії заряду. Рекомбінація носіїв заряду та тривалість їх життя. Дрейфові і дифузійні струми у напівпровідниках. Фундаментальні рівняння твердотільної електроніки: рівняння неперервності та Пуассона. Термоелектронна емісія в напівпровідниках. Робота виходу. Ефект поля.

Тема 3 Контакт метал-напівпровідник

Класифікація електричних контактів: контакт метал-напівпровідник, p-n - переходи, гетеропереходи, p-p+, n-p+ контакти. Способи їх виготовлення. Енергетична діаграма контакту метал-напівпровідник. Омичні та випрямні контакти. Вимоги до контактуючих матеріалів. Перехід Шоткі. Утворення контактної різниці потенціалів. Вольт-амперна характеристика переходу.

Тема 4 Електронно-дірковий перехід і процеси в ньому

Рівноважний p-n перехід і фізичні процеси в ньому. Різкі та плавні переходи. Діаграма енергетичних зон переходу. Процеси в p-n - переході при відсутності зовнішньої напруги. Утворення запірного шару і дифузійного електричного поля в ньому. Висота потенціального бар'єра та контактна різниця потенціалів. Ємність p-n - переходу. Процеси в p-n - переході під дією зовнішньої напруги. Інжекція і екстракція носіїв. Вольт-амперна характеристика переходу. Її особливості для реальних випрямних контактів. Види пробоїв p-n-переходів. Еквівалентна схема переходу. Ізотипні та анізотипні гетеропереходи. Зонні діаграми гетеропереходів. Основні моделі струмопроходження через гетеропереходи. Електричні властивості гетеропереходів. Теоретичні та реальні ВАХ гетеропереходів.

Тема 5 Напівпровідникові діоди.

Класифікація та системи позначень діодів: радянська, PRO-ELECTRON, JEDEK. Відмінність ВАХ германієвого і кремнієвого діодів. Випрямні діоди. Напівпровідникові стабілітрони і стабістори. Універсальні діоди. Імпульсні діоди та перехідні процеси в них. Варикапи. Тунельні та обернені діоди. Високочастотні діоди. Діоди Шоткі. Схеми випрямлення струму.

Модуль 2. Біполярні та польові транзистори

Тема 6 Біполярні транзистори (БТ).

Загальні відомості про транзистори, режими роботи та типи. Визначення, класифікація і система позначень БТ. Будова і технологія виготовлення сплавного транзистора. Принцип дії БТ в активному режимі. Схеми включення та режими роботи БТ. Основні співвідношення між струмами, напругами і статичним коефіцієнтом передачі струму емітера для схем включення транзистора зі спільною базою та спільним колектором або емітером. Коефіцієнти перенесення, інжекції та збільшення колекторного струму. Модель Еберса-Молла. Чотириполюсники. Y, Z, H системи параметрів чотириполюсника. Статичні характеристики БТ зі спільною базою, спільним емітером та спільним колектором. Вхідні та вихідні характеристики. Характеристики прямої передачі та зворотного зв'язку. Вплив температури на статичні характеристики транзисторів. Граничні режими роботи БТ. Пробій транзистора, його види. Максимально допустима потужність. Диференціальні параметри БТ. Температурний дрейф статичних характеристик. Диференціальні параметри й еквівалентні схеми. Залежність фізичних параметрів від зовнішніх впливів. Робота БТ у динамічному режимі. Визначення параметрів приладу за його статичними характеристиками.

Тема 7 Динамічний режим роботи БТ.

Принцип дії підсилювального каскаду на БТ. Способи забезпечення режиму спокою транзисторного каскаду. Схеми з фіксованим струмом бази, температурною стабільністю в емітерному колі, автоматичним зміщенням робочої точки. Оцінка транзисторних каскадів за температурною нестабільністю. Графоаналітичний спосіб визначення параметрів режиму підсилення. Частотні властивості БТ. Особливості схем включення транзисторів. Робота БТ у ключовому режимі. Деякі різновиди БТ. Одно-перехідний транзистор. Високочастотні малопотужні транзистори. Потужні транзистори.

Тема 8 Польові транзистори (ПТ).

Польові транзистори з керуючим р-n - переходом (ПТКП). Структурна схема, принцип дії та характеристики ПТУП. Ширина каналу. Статичні характеристики ПТ. Вхідні і вихідні характеристики. Диференціальні параметри ПТ. Польові транзистори з ізольованим затвором (МДН). Ефект поля. МДН-транзистори з індуктованим каналом. МДН-транзистори з вбудованим каналом. Структурна схема, принцип дії та характеристики МДН. Вплив температури на характеристики польових транзисторів. Динамічний режим роботи польових транзисторів. Схеми забезпечення режиму спокою ПТ. Каскади на ПТ: розрахунок у статиці та динаміці. Частотні властивості ПТ. Потужні польові транзистори. Польові прилади з зарядовим зв'язком.

Тема 9 Тиристори.

Будова та принцип дії тиристорів. Позначення тиристорів. Вольт-амперна характеристика тиристора. Діністорний режим. Триністорний режим. Залежність напруги переключення триністора від струму керування. Симістори. Способи комутації тиристорів. Перехідні процеси в тиристорі. Особливості керування тиристорами. Побудова електричних кіл керування. Вибір режиму формувача імпульсів керування. Параметри імпульсів керування.

Модуль 3. Елементи електроніки, що генерують електромагнітні хвилі. Основи мікроелектроніки

Тема 10 Лавинно-пролітні діоди.

Передача інформації електромагнітними хвилями. Генерація несучої частоти. Загальні відомості про прилади, що генерують електричні коливання та лавинно-пролітні діоди (ЛПД). Діоди Ріда. Їх будова і зонна діаграма. Області множення і дрейфу. Механізм виникнення негативного диференціального опору. Залежності струму і напруги від часу. Типові конструкції ЛПД. Використання ЛПД для генерації НВЧ-коливань. Основні параметри ЛПД.

Тема 11 Діоди Ганна.

Загальні відомості. Ефект Ганна. Вимоги до зонної структури напівпровідника. Утворення доменів. Статична вольт-амперна характеристика діодів Ганна. Зарядова нестійкість у приладах з від'ємним диференціальним опором. Генерація НВЧ-коливань у діодах Ганна. Недоліки та переваги генераторів Ганна.

Тема 12 Основи мікроелектроніки

- Основні поняття та визначення. Етапи розвитку мікроелектроніки. Основні типи інтегральних схем (ІС), їх виробники. Класифікація ІС. Система умовних позначень. Елементи конструкції ІС. Види ізоляції. Технології виготовлення основних елементів ІС: планарно-дифузійна та планарно-епітаксіальна. Гібридні ІС. Плівкова технологія. Виготовлення основних елементів електроніки за цією технологією. Біполярні транзистори в ІС. МОН (МДН) транзистори. ІС з інжекційним живленням. TRI GATE архі-тектура. Перспективи розвитку мікроелектроніки.

Тема 13 Введення в оптоелектроніку

Загальні відомості. Особливості оптоелектроніки. Основні прилади оптоелектроніки, їх переваги та недоліки. Індикатори, формувачі сигналів, волоконно-оптичні лінії зв'язку, оптопари, сонячні фотоперетворювачі, оптична пам'ять запам'ятовуючих пристроїв, сонячні фотоперетворювачі, оптоелектронні датчики, тощо.

Тема 14 Основні поняття оптики

Електромагнітні хвилі, їх основні характеристики. Опис світлових хвиль. Шкала електромагнітних хвиль. Випромінювання світла. Характеристики випромінювання. Відбиття світла від границі розділу матеріалів, поглинання у напівпровіднику, про-ходження через матеріал. Види поглинання та його закони. Співвідношення Ламберта. Закони відбиття та заломлення світла. Формула Друде-Фойгта. Прямоzonні та непря-мозонні матеріали. Визначення їх ширини зони. Екситонне поглинання світла. Механізми люмінесценції. Інжекційна та ударна люмінесценція. Фізичні явища при цьому

Тема 15 Оптоелектронні напівпровідникові прилади. Світлодіоди та лазери

Матеріали для створення світлодіодів. Світлодіоди, їх позначення. Конструкція світлодіодів. Їх основні параметри. Яскравостні характеристики. Світлодіоди з кольором свічення, що перелаштовується. Індикаторні елементи. Принципи роботи напівпровідникових лазерів. Їх конструкція та основні характеристики. Одномодові та багатомодові лазери. Лазери на наноструктурах.

Модуль 4. Оптоелектронні напівпровідникові прилади. Введення у мікросхемотехніку

<p>Тема 16 Фотоприймачі</p> <p>Фоторезистивний ефект. Напівпровідникові фотоприймачі. Фоторезистори. Фотодіоди. Фотоприймачі з внутрішнім підсиленням: фототранзистори та фототиристри. Різновиди фотодіодів. Основні параметри фотоприймачів.</p>
<p>Тема 17 Сонячні елементи та оптопари</p> <p>Загальні відомості. Сонячне випромінювання, його основні характеристики. Сонячні елементи (СЕ) на р-п – переході. СЕ з гетеропереходами. Еквівалентна схема фотоелементів. Темнові та світлові вольт-амперні характеристики ідеальних і реальних СЕ. Визначення основних характеристик фотоперетворювачів. Оптимум Шоклі-Квайсера. Максимальне ККД СЕ. Основні фізичні процеси у фотоперетворювачах. Три покоління СЕ. Монокристалічні та плівкові СЕ. Нові матеріали геліоенергетики. Одноперехідні та тандемні фотоперетворювачі. Оптопари, їх застосування. Недоліки та переваги оптопар. Електронні аналоги оптопар</p>
<p>Тема 18 Введення у мікросхемотехніку</p> <p>Принципи і прийоми побудови інтегральних мікросхем (ІМС). Способи їх застосування та експлуатації. Відмінність від схемотехнічних прийомів дискретної електроніки. Сфера застосування і класифікація аналогових інтегральних мікросхем. Генератори стабільного струму (ГСС). Базова схема та схема з «дзеркалом струму». Генератори стабільної напруги (ГСН). Схеми термостабілізованих ГСН: Схеми зсуву рівня постійної складової сигналу. Регулювання величини компенсуючого зсуву. Двотактний вихідний каскад з комплементарними транзисторами. Двотактний вихідний каскад із додатковим каскадом зміщення. Недоліки та переваги. Двотактний вихідний каскад із захистом від короткого замикання. Диференціальний каскад як диференціальний підсилювач (ДП). Принцип дії ДП. Диференціальний та синфазний сигнали. Режими роботи ДП за виходом. ДП із диференціальним сигналом на вході. Статична передавальна характеристика ДП. Основні параметри ДП. Операційні підсилювачі. Три та двокаскадна схема. Аналогові інтегральні ключі. Режими перемикання напруги та струму. Діодні аналогові ключі. Аналогові ключі на біполярних транзисторах. Переваги і недоліки. Аналогові ключі на МОН - транзисторах. Інтегральні компаратори. Компаратор із цифровим виходом. Спеціалізований інтегральний компаратор.</p>

5. Очікувані результати навчання навчальної дисципліни

Після успішного вивчення навчальної дисципліни здобувач вищої освіти зможе:

РН1	Розуміти фізичні принципи роботи приладів твердотільної електроніки, що є основою їх функціонування.
РН2	Знати параметри і характеристики різних напівпровідникових приладів і елементів інтегральних мікросхем, необхідні для забезпечення їх штатних режимів роботи.
РН3	Знати експлуатаційні особливості та можливі застосування приладів твердотільної електроніки і елементів інтегральних мікросхем.
РН4	Знати типові та універсальні схемотехнічні рішення створення електронних систем та їх блоків.
РН5	Створювати на основі типових рішень та універсальних схем нові схемотехнічні продукти.

6. Роль навчальної дисципліни у досягненні програмних результатів

Програмні результати навчання, досягнення яких забезпечує навчальна дисципліна.
Для спеціальності 171 Електроніка:

ПР1	Описувати принцип дії за допомогою наукових концепцій, теорій та методів та перевіряти результати при проектуванні та застосуванні приладів, пристроїв та систем електроніки.
ПР3	Знаходити рішення практичних задач електроніки шляхом застосування відповідних моделей та теорій електродинаміки, аналітичної механіки, електромагнетизму, статистичної фізики, фізики твердого тіла
ПР4	Оцінювати характеристики та параметри матеріалів електронної техніки, розуміти основи твердотільної електроніки, електротехніки, аналогової та цифрової схемотехніки, перетворювальної та мікропроцесорної техніки.
ПР5	Застосовувати експериментальні навички (знання експериментальних методів та порядку проведення експериментів) для перевірки гіпотез та дослідження явищ електроніки; вміти використовувати стандартне обладнання, планувати, складати схеми; аналізувати, моделювати та критично оцінювати отримані результати.
ПР14	Демонструвати навички проведення експериментальних досліджень, пов'язаних з професійною діяльністю; вдосконалювати методики вимірювання; контролювати достовірність отриманих результатів; систематизувати та аналізувати дані, отримані експериментальним шляхом.

7. Види навчальних занять та навчальної діяльності

7.1 Види навчальних занять

Тема 1. Вступ. Предмет і завдання дисципліни.
Лк1 "Вступ. Предмет і завдання дисципліни" (денна) Напрями та етапи розвитку електроніки. Основні матеріали напівпровідникової техніки. Класифікація пристроїв електроніки за класами, видом енергії, що діє на вході і виході, способом формування і передачі сигналу. Напівпровідники. Класифікація напівпровідникових матеріалів.
Тема 2. Елементи фізики напівпровідників.
Лк2 "Елементи фізики напівпровідників." (денна) Монокристали, їх кристалічна гратка. Зонна структура напівпровідників. Власна і домішкова провідність. Ефективна маса носіїв заряду. Статистика електронів і дірок у напівпровідниках. Залежність положення рівня Фермі від температури. Вплив температури на рухливість носіїв заряду.

<p>Лк3 "Дрейфові і дифузійні струми у напівпровідниках. Фундаментальні рівняння твердотільної електроніки: рівняння неперервності та Пуассона" (денна)</p> <p>Нерівноважні носії заряду. Рекомбінація носіїв заряду та тривалість їх життя. Дрейфові і дифузійні струми у напівпровідниках. Фундаментальні рівняння твердотільної електроніки: рівняння неперервності та Пуассона. Термоелектронна емісія в напівпровідниках. Робота виходу. Ефект поля</p>
<p>Пр1 "Статистика електронів і дірок у напівпровідниках." (денна)</p> <p>Статистика електронів і дірок у напівпровідниках. Залежність положення рівня Фермі від температури.</p>
<p>Пр2 "Фундаментальні рівняння твердотільної електроніки: рівняння неперервності та Пуассона." (денна)</p> <p>Фундаментальні рівняння твердотільної електроніки: рівняння неперервності та Пуассона. Термоелектронна емісія в напівпровідниках.</p>
<p>Тема 3. Контакт метал-напівпровідник</p>
<p>Лк4 "Класифікація електричних контактів: контакт метал-напівпровідник, p-n - переходи, гетеропереходи, p-p+, n-n+ контакти" (денна)</p> <p>Класифікація електричних контактів: контакт метал-напівпровідник, p-n - переходи, гетеропереходи, p-p+, n-n+ контакти. Способи їх виготовлення. Енергетична діаграма контакту метал-напівпровідник. Омичні та випрямні контакти. Перехід Шоткі. Утворення контактної різниці потенціалів. Вольт-амперна характеристика переходу.</p>
<p>Тема 4. Електронно-дірковий перехід і процеси в ньому</p>
<p>Лк5 "Рівноважний p-n перехід і фізичні процеси в ньому." (денна)</p> <p>Рівноважний p-n перехід і фізичні процеси в ньому. Діаграма енергетичних зон переходу. Процеси в p-n - переході при відсутності зовнішньої напруги. Утворення запірного шару і дифузійного електричного поля в ньому.</p>
<p>Лк6 "Процеси в p-n - та гетеропереході під дією зовнішньої напруги." (денна)</p> <p>Процеси в p-n - переході під дією зовнішньої напруги. Вольт-амперна характеристика переходу. Види пробоїв p-n-переходів. Еквівалентна схема переходу. Ізотипні та анізотипні гетеропереходи. Зонні діаграми гетеропереходів. Основні моделі струмопроходження через гетеропереходи. Електричні властивості гетеропереходів. Теоретичні та реальні ВАХ гетеропереходів.</p>
<p>Пр3 "Процеси на p-n." (денна)</p> <p>Процеси на p-n. Утворення контактної різниці потенціалів. Процеси в p-n - переході під дією зовнішньої напруги. Вольт-амперна характеристика переходу.</p>
<p>Тема 5. Напівпровідникові діоди.</p>

<p>Лк7 "Класифікація та системи позначень діодів: радянська, PRO-ELECTRON, JEDEK" (денна)</p> <p>Класифікація та системи позначень діодів: радянська, PRO-ELECTRON, JEDEK. Від-мінність ВАХ германієвого і кремнієвого діодів. Випрямні діоди. Напівпровідникові стабілітрони і стабістори.</p>
<p>Лк8 "Різновиди діодів" (денна)</p> <p>Випрямні діоди. Напівпровідникові стабілітрони і стабістори. Універсальні діоди. Імпульсні діоди та перехідні процеси в них. Варикапи і варактори. Тунельні та обернені діоди. Високочастотні діоди.</p>
<p>Пр4 "Особливості ВАХ реальних діодів." (денна)</p> <p>Особливості ВАХ реальних діодів. Напівпровідникові стабілітрони і стабістори.</p>
<p>Лб1 "Дослідження характеристик напівпровідникових діодів" (денна)</p> <p>Дослідження напівпровідникових діодів, стабілітрона, параметричного стабілітрона.</p>
<p>Лб2 "Дослідження характеристик стабілітрона" (денна)</p> <p>Дослідження напівпровідникових діодів, стабілітрона, параметричного стабілітрона.</p>
<p>Тема 6. Біполярні транзистори (БТ).</p>
<p>Лк9 "Визначення, класифікація і система позначень БТ. Принцип дії БТ в активному режимі." (денна)</p> <p>Загальні відомості про транзистори, режими роботи та типи. Визначення, класифікація і система позначень БТ. Принцип дії БТ в активному режимі. Схеми включення та режими роботи БТ.</p>
<p>Лк10 "Статичні характеристики БТ" (денна)</p> <p>Основні співвідношення між струмами, напругами і статичним коефіцієнтом передачі струму емітера для схем включення транзистора зі спільною базою та спільним колектором або емітером. Коефіцієнти перенесення, інжекції та збільшення колекторного струму</p>
<p>Лк11 "Чотириполіусники. Y, Z, H системи параметрів чотириполіусника" (денна)</p> <p>Чотириполіусники. Y, Z, H системи параметрів чотириполіусника. Статичні характеристики БТ зі спільною базою, спільним емітером та спільним колектором. Вхідні та вихідні характеристики. Пробій транзистора, його види. Диференціальні параметри БТ. Температурний дрейф статичних характеристик. Диференціальні параметри й еквівалентні схеми. Залежність фізичних параметрів від зовнішніх впливів. Характеристики прямої передачі та зворотного зв'язку. Граничні режими роботи БТ.</p>
<p>Пр5 "Принцип дії БТ в активному режимі." (денна)</p> <p>Принцип дії БТ в активному режимі. Схеми включення та режими роботи БТ.</p>
<p>Тема 7. Динамічний режим роботи БТ.</p>

<p>Лк12 "Робота БТ у динамічному режимі." (денна)</p> <p>Робота БТ у динамічному режимі. Визначення параметрів приладу за його статичними характеристиками. Принцип дії підсилювального каскаду на БТ. Способи забезпечення режиму спокою транзисторного каскаду. Схеми з фіксованим струмом бази, температурною стабілізацією в емітерному колі, автоматичним зміщенням робочої точки.</p>
<p>Лк13 "Графоаналітичний спосіб визначення параметрів режиму підсилення" (денна)</p> <p>Оцінка транзисторних каскадів за температурною нестабільністю. Графоаналітичний спосіб визначення параметрів режиму підсилення. Частотні властивості БТ. Особливості схем включення транзисторів. Робота БТ у ключовому режимі. Деякі різновиди БТ. Одноперехідний транзистор. Високочастотні малопотужні транзистори. Потужні транзистори.</p>
<p>Пр6 "Графоаналітичний спосіб визначення параметрів режиму підсилення БТ" (денна)</p> <p>Робота БТ у динамічному режимі. Визначення параметрів приладу за його статичними характеристиками. Графоаналітичний спосіб визначення параметрів режиму підсилення.</p>
<p>Лб3 "Дослідження ВАХ БТ у схемі зі спільною базою (СБ)" (денна)</p> <p>Дослідження біполярного транзистора в схемі зі спільною базою (СБ)</p>
<p>Лб4 "Дослідження ВАХ БТ у схемі зі спільною базою (СБ)" (денна)</p> <p>Дослідження біполярного транзистора в схемі зі спільною базою (СБ)</p>
<p>Лб5 "Дослідження ВАХ БТ в схемі зі спільним емітером (СЕ)." (денна)</p> <p>Дослідження біполярного транзистора в схемі зі спільним емітером (СЕ).</p>
<p>Лб6 "Дослідження ВАХ БТ в схемі зі спільним емітером (СЕ)." (денна)</p> <p>Дослідження біполярного транзистора в схемі зі спільним емітером (СЕ).</p>
<p>Тема 8. Польові транзистори (ПТ).</p>
<p>Лк14 "Польові транзистори з керуючим р-п - переходом (ПТКП)." (денна)</p> <p>Польові транзистори з керуючим р-п - переходом (ПТКП). Структурна схема, принцип дії та характеристики ПТУП. Ширина каналу. Статичні характеристики ПТ. Вхідні і вихідні характеристики. Диференціальні параметри ПТ. Польові транзистори з ізольованим затвором (МДН). Ефект поля. МДН-транзистори з індукованим каналом. МДН-транзистори з вбудованим каналом.</p>
<p>Лк15 "Динамічний режим роботи польових транзисторів." (денна)</p> <p>Структурна схема, принцип дії та характеристики МДН ПТ. Вплив температури на характеристики польових транзисторів. Динамічний режим роботи польових транзисторів. Схеми забезпечення режиму спокою ПТ. Каскади на ПТ: розрахунок у статиці та динаміці. Частотні властивості ПТ. Потужні польові транзистори. Польові прилади з зарядовим зв'язком.</p>

<p>Пр7 "Динамічний режим роботи польових транзисторів" (денна)</p> <p>Польові транзистори з керуючим р-п - переходом (ПТКП) та з ізольованим затвором (МДН). Динамічний режим роботи польових транзисторів. Схеми забезпечення режиму спокою ПТ.</p>
<p>Лб7 "Дослідження ВАХ польового транзистора" (денна)</p> <p>Дослідження польового транзистора з керуючим р-п-переходом</p>
<p>Тема 9. Тиристри.</p>
<p>Лк16 "Будова та принцип дії тиристорів." (денна)</p> <p>Будова та принцип дії тиристорів. Позначення тиристорів. Вольт-амперна характеристика тиристора. Діністорний режим. Триністорний режим. Залежність напруги переключення триністора від струму керування. Симістри. Способи комутації тиристорів. Перехідні процеси в тиристрі. Особливості керування тиристорами.</p>
<p>Пр8 "Вольт-амперна характеристика тиристора." (заочна)</p> <p>Будова та принцип дії тиристорів. Вольт-амперна характеристика тиристора. Діністорний та триністорний режими</p>
<p>Лб8 "Дослідження ВАХ тиристора"</p> <p>Дослідження тиристора в колах постійного струму (діністор, тиристор в діністорному режимі, триністор)</p>
<p>Тема 10. Лавинно-пролітні діоди.</p>
<p>Лк1 "Загальні відомості про прилади, що генерують електричні коливання." (денна)</p> <p>Передача інформації електромагнітними хвилями. Генерація несучої частоти. Загальні відомості про прилади, що генерують електричні коливання. Лавинно-пролітні діоди (ЛПД). Діоди Ріда. Їх будова і зонна діаграма. Механізм виникнення негативного диференціального опору. Залежності струму і напруги від часу. Типові конструкції ЛПД. Використання ЛПД для генерації НВЧ-коливань.</p>
<p>Пр1 "Лавинно-пролітні діоди (ЛПД) та діоди Ганна" (денна)</p> <p>Лавинно-пролітні діоди (ЛПД) та діоди Ганна. Електронні процеси у приладах та їх статичні вольт-амперні характеристики.</p>
<p>Тема 11. Діоди Ганна.</p>
<p>Лк2 "Статична вольт-амперна характеристика діодів Ганна" (денна)</p> <p>Загальні відомості. Ефект Ганна. Вимоги до зонної структури напівпровідника. Утворення доменів. Статична вольт-амперна характеристика діодів Ганна. Зарядова нестійкість у приладах з від'ємним диференціальним опором. Генерація НВЧ-коливань у діодах Ганна. Недоліки та переваги генераторів Ганна.</p>

<p>Лб1 "Дослідження ВАХ ЛПВ та діодів Ганна" (денна)</p> <p>Лавинно-пролітні діоди (ЛПД) та діоди Ганна. Електронні процеси у приладах та їх статичні вольт-амперні характеристики.</p>
<p>Лб2 "Дослідження ВАХ ЛПД та діоду Ганна" (денна)</p> <p>Лавинно-пролітні діоди (ЛПД) та діоди Ганна. Електронні процеси у приладах та їх статичні вольт-амперні характеристики.</p>
<p>Тема 12. Основи мікроелектроніки</p>
<p>Лк3 "Етапи розвитку мікроелектроніки. Класифікація інтегральних схем (ІС)." (денна)</p> <p>Основні поняття та визначення. Етапи розвитку мікроелектроніки. Класифікація інтегральних схем (ІС). Система умовних позначень. Елементи конструкції ІС. Технології виготовлення основних елементів ІС: планарно-дифузійна та планарно-епітаксіальна. Види ізоляції. Гібридні ІС. Плівкова технологія. Виготовлення основних елементів електроніки. Біполярні транзистори в ІС. МОН (МДП) транзистори. ІС з інжекційним живленням. TRI GATE архітектура. Перспективи розвитку мікроелектроніки.</p>
<p>Пр2 "Виготовлення основних елементів електроніки різними технологіями." (денна)</p> <p>Технології виготовлення основних елементів ІС: планарно-дифузійна та планарно-епітаксіальна. Виготовлення основних елементів електроніки різними технологіями.</p>
<p>Тема 13. Введення в оптоелектроніку</p>
<p>Лк4 "Особливості оптоелектроніки. Основні прилади оптоелектроніки." (денна)</p> <p>Загальні відомості про оптоелектроніку, її особливості. Основні прилади оптоелектроніки, їх переваги та недоліки. Індикатори, формувачі сигналів, волоконно-оптичні лінії зв'язку, оптопар, сонячні фотоперетворювачі, оптична пам'ять запам'ятовуючих пристроїв, сонячні фотоперетворювачі, оптоелектронні датчики, тощо</p>
<p>Тема 14. Основні поняття оптики</p>
<p>Лк5 "Електромагнітні хвилі, їх основні характеристики" (денна)</p> <p>Електромагнітні хвилі, їх основні характеристики. Шкала електромагнітних хвиль. Відбиття світла від границі розділу матеріалів, поглинання у напівпровіднику, проходження через матеріал. Види поглинання та його закони. Співвідношення Ламберта.</p>
<p>Лк6 "Електромагнітні хвилі, їх основні характеристики. Шкала електромагнітних хвиль. Відбиття світла від границі розділу матеріалів, поглинання у напівпровіднику, про-ходження через матеріал. Види поглинання та його закони. Співвідношення Ламберта." (денна)</p> <p>Закони відбиття та заломлення світла. Формула Друде-Фойгта. Прямоzonні та непрямоzonні матеріали. Визначення їх ширини забороненої зони. Екситонне поглинання світла. Механізми люмінесценції. Інкєкційна та ударна люмінесценція.</p>

<p>Пр3 "Закону відбиття та заломлення світла" (денна) Відбиття світла від границі розділу матеріалів, поглинання у напівпровіднику, проходження через напівпровідниковий матеріал.</p>
<p>Тема 15. Оптоелектронні напівпровідникові прилади. Світлодіоди та лазери</p>
<p>Лк7 "Світлодіоди, їх позначення. Конструкція світлодіодів." (денна) Світлодіоди, їх позначення. Конструкція світлодіодів. Їх основні параметри. Яскравостні характеристики. Світлодіоди з кольором свічення, що перелаштовується. Індикаторні елементи.</p>
<p>Лк8 "Принципи роботи напівпровідникових лазерів" (денна) Принципи роботи напівпровідникових лазерів. Їх основні характеристики. Одномодові та багатомодові лазери. Лазери на наноструктурах.</p>
<p>Пр4 "Світлодіоди та лазери" (денна) Світлодіоди та лазери, їх конструкція та основні параметри.</p>
<p>Тема 16. Фотоприймачі</p>
<p>Лк9 "Напівпровідникові фотоприймачі." (денна) Фоторезистивний ефект. Напівпровідникові фотоприймачі. Фоторезистори. Фотодіоди. Фотоприймачі з внутрішнім підсиленням: фототранзистори та фототиристри. Різновиди фотодіодів. Основні параметри фотоприймачів.</p>
<p>Пр5 "Напівпровідникові фотоприймачі." (денна) Фоторезистивний ефект. Напівпровідникові фотоприймачі.</p>
<p>Лб3 "Дослідження ВАХ фотодіодів та фототранзисторів" (денна) Дослідження характеристик фотодіодів та фототранзисторів</p>
<p>Лб4 "Дослідження ВАХ фотодіодів та фототранзисторів" (денна) Дослідження характеристик фотодіодів та фототранзисторів</p>
<p>Тема 17. Сонячні елементи та оптопари</p>
<p>Лк10 "Сонячні елементи (СЕ) на р-n – переході. СЕ з гетеропереходами. Еквівалентна схема фотоперетворювачів." (денна) Загальні відомості. Сонячне випромінювання, його основні характеристики. СЕ на основі р-n – переходів та гетеропереходів. Еквівалентна схема фотоперетворювачів.</p>
<p>Лк11 "Темнові та світлові вольт-амперні характеристики ідеальних і реальних СЕ." (денна) Темнові та світлові вольт-амперні характеристики ідеальних і реальних СЕ. Визначення основних характеристик фотоперетворювачів. Оптимум Шоклі-Квайсера. Максимальне ККД СЕ. Основні фізичні процеси у фотоперетворювачах. Три покоління СЕ. Монокристалічні та плівкові СЕ. Нові матеріали геліоенергетики. Одноперехідні та тандемні фотоперетворювачі.</p>

<p>Лк12 "Оптопари, їх застосування" (денна) Оптопари, їх застосування. Недоліки та переваги оптопар. Електроні аналоги оптопар.</p>
<p>Пр6 "Сонячні елементи на р-n – переході та з гетеропереходами" (денна) Сонячні елементи на р-n – переході та з гетеропереходами. Еквівалентна схема фотоелементів.</p>
<p>Пр7 "Оптопари, їх застосування" (денна) Оптопари, їх застосування. Електроні аналоги оптопар.</p>
<p>Лб5 "Дослідження темнових та світлових вольт-амперних характеристик сонячних елементів." (денна) Темнові та світлові вольт-амперні характеристики сонячних елементів.</p>
<p>Лб6 "Дослідження темнових та світлових вольт-амперних характеристик сонячних елементів." (денна) Темнові та світлові ВАХ сонячних елементів</p>
<p>Лб7 "Дослідження ВАХ опторонів та оптотеристорів"" (денна) Дослідження оптронів (оптотиристор, оптосимістор).</p>
<p>Тема 18. Введення у мікросхемотехніку</p>
<p>Лк13 "Двотактний вихідний каскад з комплементарними транзисторами." (денна) . Схеми зсуву рівня постійної складової сигналу. Регулювання величини компенсувального зсуву. Двотактний вихідний каскад з комплементарними транзисторами. Дво-тактний вихідний каскад із додатковим каскадом зміщення. Недоліки та переваги.</p>
<p>Лк14 "Диференціальний каскад як диференціальний підсилювач (ДП)." (денна) Двотактний вихідний каскад із захистом від короткого замикання. Диференціальний каскад як диференціальний підсилювач (ДП). Принцип дії ДП. Диференціальний та синфазний сигнали. Режими роботи ДП за виходом. ДП із диференціальним сигналом на вході. Статична передавальна характеристика ДП. Основні параметри ДП.</p>
<p>Лк15 "Операційні підсилювачі. Три та двокаскадна схема" (денна) Операційні підсилювачі. Три та двокаскадна схема. Аналогові інтегральні ключі. Режими перемикавання напруги та струму. Діодні аналогові ключі. Аналогові ключі на біполярних транзисторах. Переваги і недоліки.</p>
<p>Лк16 "Аналогові ключі та інтегральні компаратори." (денна) Аналогові ключі на МОН - транзисторах. Інтегральні компаратори. Компаратор із цифровим виходом. Спеціалізований інтегральний компаратор.</p>

Пр8 "Принципи і прийоми побудови інтегральних мікросхем" (денна) Принципи і прийоми побудови інтегральних мікросхем (ІМС). Способи їх застосування та експлуатації. Схемотехнічні рішення.
Л68 "Дослідження елемента ТТЛ – логіки та ЕСЛ-логіки." (денна) Основні характеристики елементів ТТЛ – логіки та ЕСЛ-логіки.

7.2 Види навчальної діяльності

НД1	Мультимедійні презентації за темами лекцій.
НД2	Проведення лабораторних робіт.
НД3	Практичні роботи.
НД4	Розрахунково-графічна робота.
НД5	Курсова робота.

8. Методи викладання, навчання

Дисципліна передбачає навчання через:

МН1	Інтерактивні проблемні лекції.
МН2	Пошукові лабораторні роботи.
МН3	Практичні заняття.
МН4	Розрахунково-графічні та курсові роботи для самостійного індивідуального виконання.

Лекції надають студентам теоретичні знання з фізичних принципів роботи основних елементів і компонентів електронних схем, їх характеристики, особливості експлуатації, типові схемотехнічні рішення створення електронних систем та їх блоків, приклади їх застосування, що є основою для самостійного навчання здобувачів вищої освіти (РН1, РН2, РН3, РН4). Лекції доповнюються практичними та лабораторними роботами, що надають студентам можливість застосовувати теоретичні знання на практичних прикладах (РН4, РН5).

Самостійному навчанню, формування навичок самоорганізації та раціонального використання свого часу сприятиме підготовка до лекцій та практичних занять. Робота в невеликих групах для виконання практичних завдань, буде стимулювати формування навичок командної роботи та лідерських якостей, а аналіз, представлення та захист результатів виконання практичних завдань у звітах та результатів виконання розрахунково-графічної роботи розвиватимуть у студентів навички вести дискусію, аргументувати свою позицію, критичного мислення та нестандартного підходу до розв'язування задач.

9. Методи та критерії оцінювання

9.1. Критерії оцінювання

Визначення	Чотирибальна національна шкала оцінювання	Рейтингова бальна шкала оцінювання
Відмінне виконання лише з незначною кількістю помилок	5 (відмінно)	$90 \leq RD \leq 100$
Вище середнього рівня з кількома помилками	4 (добре)	$82 \leq RD < 89$
Загалом правильна робота з певною кількістю помилок	4 (добре)	$74 \leq RD < 81$
Непогано, але зі значною кількістю недоліків	3 (задовільно)	$64 \leq RD < 73$
Виконання задовольняє мінімальні критерії	3 (задовільно)	$60 \leq RD < 63$
Можливе повторне складання	2 (незадовільно)	$35 \leq RD < 59$
Необхідний повторний курс з навчальної дисципліни	2 (незадовільно)	$0 \leq RD < 34$

9.2 Методи поточного формативного оцінювання

МФО1	Тестування за результатами лекційного матеріала
МФО2	Опитування на практичних заняттях
МФО3	Контроль виконання лабораторних занять
МФО4	Контроль виконання розрахунково-графічної (РГР) та курсової робіт (КР)

9.3 Методи підсумкового сумативного оцінювання

МСО1	Перевірка засвоєння знань на лекціях
МСО2	Робота на практичних заняттях
МСО3	Захист звітів за виконання лабораторних занять
МСО4	Модульні контролю
МСО5	Виконання та захист РГР
МСО6	Виконання та захист КР
МСО7	ДСК

Контрольні заходи:

4 семестр		100 балів
МСО1. Перевірка засвоєння знань на лекціях		8
	1 (8x1)	8
МСО2. Робота на практичних заняттях		16
	8x2	16
МСО3. Захист звітів за виконання лабораторних занять		24
	8x3	24

МСО4. Модульні контролі		40
	2x20	40
МСО5. Виконання та захист РГР		12
		12
5 семестр		100 балів
МСО1. Перевірка засвоєння знань на лекціях		8
	8x1	8
МСО2. Робота на практичних заняттях		16
	8x2	16
МСО3. Захист звітів за виконання лабораторних занять		16
	8x2	16
МСО4. Модульні контролі		20
	2x10	20
МСО7. ДСК		40
		40

Контрольні заходи в особливому випадку:

4 семестр		68 балів
МСО3. Захист звітів за виконання лабораторних занять		16
	8x2	16
МСО4. Модульні контролі		40
	2x20	40
МСО5. Виконання та захист РГР		12
		12
5 семестр		76 балів
МСО3. Захист звітів за виконання лабораторних занять		16
	8x2	16
МСО4. Модульні контролі		20
	2x10	20
МСО7. ДСК		40
		40

Курсова робота:

5 семестр		100 балів
МСО6. Виконання та захист КР		100

		100
--	--	-----

Оцінювання протягом семестру проводиться у формі тестування за результатами засвоєння матеріалу на лекціях, опитування у різних формах на практичних заняттях, захисту звітів за результатом виконання лабораторних робіт, перевірки письмових контрольних робіт (модульних контролів), перевірки виконання розрахунково-графічної та курсової роботи.

10. Ресурсне забезпечення навчальної дисципліни

10.1 Засоби навчання

ЗН1	Мультимедійний проектор
ЗН2	Лабораторні стенди
ЗН3	Методичне забезпечення практичних занять
ЗН4	Методичні рекомендації до виконання РГР та КР
ЗН5	Методичні рекомендації до самостійної роботи

10.2 Інформаційне та навчально-методичне забезпечення

Основна література	
1	Твердотільна електроніка: підручник / О. В. Борисов, Ю. І. Якименко; за заг. ред. Ю. І. Якименка. – Київ: НТУУ «КПІ», 2018. – 484 с.
2	Papadopoulos C. Solid-State Electronic Devices: An Introduction / C. Papadopoulos. - Springer Science, 2022. – 287 p.
3	Streetman B. Solid State Electronic Devices 7th Edition / B. Streetman, S. Banerjee/ - University of Texas at Austin, 2016. – 212 p.
4	Solid State Electronic Devices, seventh edition. Ben G. Streetman, Sanjay Kumar Banerjee. - Pearson Education Limited, 2018. - 616 p.
5	Бондаренко І.М. Твердотільна електроніка: навч. посібник для студентів ЗВО / І.М. Бондаренко, О.В. Бородін, О.Б. Галат, В.П. Карнаушенко. – Харків: ХНУРЕ, 2020. – 236 с.
Допоміжна література	
6	Борисенко О.А. Твердотільна електроніка, навч. посіб. / О.А. Борисенко, О.М. Ко-бяков, А.І. Новгородцев та ін. - Суми: СумДУ, 2013. – 271 с.
7	Grundmann M. The Physics of Semiconductors. An Introduction Including Nanophysics and Applications / M. Grundmann – Springer, 2016. – 690 p.
8	Твердотільна електроніка: практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 153 «Мікро- та наносистемна техніка» / О. В. Борисов, Т. Л. Волхова, Л. М. Королевич; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. – 108 с

9	Чадюк, В. О. Оптоелектроніка: від макро до нано. Передавання, перетворення та приймання оптичного випромінювання. Книга перша [Електронний ресурс] : навчальний посібник / В. О. Чадюк. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – 398 с.
---	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------