



# ТВЕРДОТІЛЬНА ЕЛЕКТРОНІКА

## Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

### Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Перший (бакалаврський)</i>
Галузь знань	<i>17 Електроніка та телекомунікації</i>
Спеціальність	<i>171 Електроніка</i>
Освітня програма	<i>Електронні компоненти і системи</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>очна(денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>2 курс, весняний семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4,5 кредитів ЕКТС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Іспит / Модульні контрольні роботи, РГР</i>
Розклад занять	<i>rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	Лектор: <i>доктор філософії, Шевлякова Ганна Вікторівна, g.shevliakova-me@ill.kpi.ua, +38(095)856-39-96</i> Лабораторні: <i>доктор філософії, Шевлякова Ганна Вікторівна, g.shevliakova-me@ill.kpi.ua, +38(095)856-39-96</i>
Розміщення курсу	Google клас: kmkdbet <a href="https://meet.google.com/lookup/fcqywfcnxp">https://meet.google.com/lookup/fcqywfcnxp</a>

### Програма навчальної дисципліни

#### 1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

У межах навчальної дисципліни «Твердотільна електроніка» вивчається принцип роботи приладів твердотільної електроніки, їх параметрів та властивостей, підходи до визначення цих параметрів.

Майбутньому фахівцю зі спеціальності Електроніка варто вивчати дану дисципліну, оскільки вона дає фундаментальні знання про принцип роботи твердотільних приладів, розрахунок їх параметрів та галузь їх застосування.

**Метою** дисципліни «Твердотільна електроніка» є формування у студентів здатностей: використовувати одержані знання і уміння при вивченні наступних дисциплін та у практичній діяльності фахівця; робити розрахунки основних параметрів приладів твердотільної електроніки.

Вивчення даної дисципліни забезпечить студентів наступні **компетентності**: здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування приладів твердотільної електроніки; здатність інтегрувати знання фундаментальних розділів фізики для розуміння процесів твердотільної електроніки; здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у приладах твердотільної електроніки за допомогою аналітичних методів та результатів експериментальних досліджень; здатність вирішувати інженерні задачі пов'язані з розробкою та застосуванням приладів твердотільної електроніки.

Після засвоєння дисципліни «Твердотільна електроніка» студенти мають продемонструвати такі результати навчання:

**знання:** фізичних властивостей напівпровідників; принципів роботи приладів твердотільної електроніки; параметрів і характеристик приладів твердотільної електроніки і їх залежності від зовнішніх факторів; області застосування приладів твердотільної електроніки.

**уміння:** самостійно виводити основні аналітичні співвідношення дисципліни ТТЕ; розв'язувати задачі з кожного розділу дисципліни; вимірювати параметри і характеристики конкретних приладів; проводити оптимальний вибір приладів для практичного використання в електронних пристроях та системах.

**досвід:** застосовувати знання, отримані у рамках циклів математичної та професійної підготовки; вимірювання характеристик та визначення параметрів приладів твердотільної електроніки; самостійної розробки теоретичних моделей приладів твердотільної електроніки.

## **2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

Для успішного вивчення даної дисципліни студенти мають засвоїти наступні дисципліни (**пререквізити дисципліни**): Фізичні основи електроніки, Матеріалознавство в електроніці, Основи аналітичної механіки та теорії коливань, Техніка вимірювань.

Результати навчання даної дисципліни використовуються для вивчення наступних дисциплін (**постреквізити дисципліни**): Мікропроцесорна техніка, Електронні системи, Енергетична електроніка, Пристрої перетворювальної техніки.

## **3. Зміст навчальної дисципліни**

- Розділ 1. *Загальні відомості з фізики твердого тіла*
- Розділ 2. *Електричні переходи між напівпровідниками*
- Розділ 3. *Напівпровідникові діоди.*
- Розділ 4. *Біполярні транзистори.*
- Розділ 5. *Тиристори.*
- Розділ 6. *Польові транзистори.*

## **4. Навчальні матеріали та ресурси**

Базова література, яку потрібно прочитати або використовувати для опанування дисципліни:

1. Борисов О. В., Якименко Ю. І. Твердотільна електроніка. Підручник. Київ: НТУУ «КПІ», 2015. 484 с.  
Режим доступу: [https://me.kpi.ua/downloads/Borysov\\_Yakymenko\\_TTE\\_2015.pdf](https://me.kpi.ua/downloads/Borysov_Yakymenko_TTE_2015.pdf)
2. Пасынков В.В., Чиркин Л.К. Полупроводниковые приборы. СПб.: Лань, 2002. 480 с.

Допоміжна література, яку потрібно прочитати або використовувати для опанування дисципліни:

1. Борисов О. В. Твердотільна електроніка. Пробій в колекторному переході бездрейфового транзистора [Електронний ресурс] : навчальний посібник / О. В. Борисов, Т. Л. Волхова, Л. М. Королевич. – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 109 с.  
Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/13844>
2. Борисов О. В. Твердотельная электроника: вопросы и ответы / О. В. Борисов, Т. Л. Волхова, Л. М. Королевич. – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 188 с.  
Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/13847>
3. Борисов О. В. Твердотільна електроніка: практикум / О. В. Борисов, Т. Л. Волхова, Л. М. Королевич. – Київ : НТУУ «КПІ», 2018. – 105 с.  
Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/24896>
4. Гусев В.А. Основы твердотельной электроники. Севастополь: Изд-во Сев. НТУ, 2004. 635 с.
5. Дружинін А.О. Твердотільна електроніка. Фізичні основи і властивості напівпровідникових приладів: Навчальний посібник. – Львів: Видавн. Тугов І.М. Національного університету «Львівська політехніка», 2009. 332 с.

6. Тугов И.М., Глебов Б.А., Чарыков Н.А. Полупроводниковые приборы М: Энергоатомиздат, 1990. – 576 с.
7. Прохоров Е.Д. Твердотільна електроніка: Навч. посібник. Х.: ХНУ ім. Каразіна, 2007. 544 с.

### Навчальний контент

#### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Методика опанування навчальної дисципліни полягає у вивченні теоретичної частини матеріалу, засвоєння вивченого на лабораторних роботах. Виконуючи РГР студенти навчаються самостійно вирішувати завдання по визначенню параметрів приладів твердотільної електроніки. Завдяки лабораторним роботам студенти вчаться самостійно досліджувати прилади твердотільної електроніки і вимірювати їх параметри і характеристики.

#### Лекційні заняття

Тема курсу	Зміст Лекції
------------	--------------

#### *Розділ 1. Загальні відомості з фізики твердого тіла*

1.1. Предмет курсу «Твердотільна електроніка»	1. Мета та завдання курсу «Твердотільна електроніка». Рейтингова система курсу. Місце курсу в процесі підготовки фахівців. Історія розвитку електроніки. Література. Зонна теорія. Поняття рівня Фермі. Відмінності між металами, напівпровідниками та діелектриками з погляду зонної теорії. Електропровідність напівпровідників. Закон діючих мас.
1.2. Основні поняття і терміни з фізики твердого тіла	

#### *Розділ 2. Електричні переходи між напівпровідниками*

2.1. <i>P-n</i> перехід в рівноважному стані	2. Фізичні явища при утворенні <i>p-n</i> переходу. Утворення не скомпенсованого заряду на межі <i>p</i> і <i>n</i> напівпровідників. Потенціальний бар'єр, дифузійне електричне поле. Зонна модель <i>p-n</i> переходу. Електричний струм через <i>p-n</i> перехід в рівноважному стані. Ширина <i>p-n</i> переходу в рівноважному стані.
2.2. <i>P-n</i> перехід в нерівноважному стані	3. Зміщення <i>p-n</i> переходу в прямому та зворотному напрямку. Струм через <i>p-n</i> перехід в нерівноважному стані. Висота потенціального бар'єру і ширина <i>p-n</i> перехід в нерівноважному стані. 4. Вольт-амперна характеристика ідеалізованого <i>p-n</i> переходу. Вольт-амперна характеристика реального <i>p-n</i> переходу. Теорія пробою <i>p-n</i> переходу; електричний пробій (тунельний, лавинний, тепловий). 5. Параметри <i>p-n</i> переходу: опір і ємність. <i>P-n</i> перехід на малому змінному сигналі. Малосигнальна схема зміщення. <i>P-n</i> перехід на високому рівні інжекції

#### *Розділ 3. Напівпровідникові діоди*

3.1. Низькочастотні напівпровідникові діоди	6. Класифікація і умовні позначення напівпровідникових діодів. Випрямні напівпровідникові діоди. 7. Імпульсні діоди. Перемикання діодів з прямого вмикання на зворотне. Проходження імпульсів прямого струму через діод. Діоди з накопиченням заряду. 8. Напівпровідникові стабілітрони, їх параметри та галузі застосування. Варикапи, їх параметри та галузі застосування. Термогенерація в <i>p-n</i> переході.
---	--

3.2. Надвисокочастотні напівпровідникові діоди	9. Тунельні діоди. ВАХ діода; параметри діода. Частотні властивості діода. Обернений тунельний діод. 10. Діоди НВЧ. Рух носіїв в напівпровідниках в великих електричних полях. Лавинно-прольотні діоди. Діоди Ганна.
3.3. Діоди Шоттки	11. Контакт метал-напівпровідник. Зонна діаграма контакту. Бар'єри Шоттки. Діоди Шоттки.

#### ***Розділ 4. Біполярні транзистори.***

4.1. Класифікація і умовне позначення транзисторів. Принцип дії транзистора.	12. Класифікація і умовні позначення транзисторів. Структура біполярного транзистора. Режими роботи біполярного транзистора. Фізичні процеси в транзисторі в активному нормальному режимі. Підсилення в транзисторі. Співвідношення між струмами в транзисторі.
4.2. Схеми вмикання транзистора. ВАХ транзистора.	13. Три схеми вмикання транзистора: загальна характеристика схеми вмикання. ВАХ ідеалізованої моделі транзистора. Співвідношення Молла-Еберса. ВАХ реального транзистора для схеми з загальною базою і з загальним емітером.
4.3. Параметри транзистора	14. Внутрішні (фізичні) параметри транзистора. Залежність параметрів від режиму роботи і від температури. Зовнішні параметри транзистора (параметри чотирьохполюсника). Системи параметрів. Зв'язок між системами параметрів. Еквівалентні схеми транзистора.
4.4. Частотні властивості транзистора	15. Залежність коефіцієнтів підсилення по струму від частоти в схемах з загальною базою і загальним емітером. Методи підвищення частотних властивостей транзистора. Внутрішнє електричне поле в базі транзистора. Час прольоту носіїв бази. Розподіл носіїв в базі. Характеристика дрейфових і бездрейфових транзисторів.

#### ***Розділ 5. Тиристоры***

5.1. Принцип роботи тиристора	16. Диністор: структура, принцип дії та ВАХ. Тріодний тиристор. Ефект $du/dt$ та $di/dt$ у тиристорах. Галузі застосування.
-------------------------------	---

#### ***Розділ 6. Польові транзистори***

6.1. Транзистори з керуючим <i>p-n</i> переходом	17. Структура і принцип роботи транзистора з керуючим <i>p-n</i> переходом. ВАХ і параметри транзистора. Частотні властивості.
6.2. Транзистори з ізолюваним затвором	18. Польові транзистори зі структурою метал-діелектрик-напівпровідник. Принцип роботи, параметри, характеристики. Галузі застосування.

#### **Лабораторні роботи**

№ заняття	Розділ	Тема заняття	Зміст роботи
1		Вступ	Вступний інструктаж з техніки безпеки. Знайомство з лабораторними стендами.
2	3	Дослідження випрямляючих напівпровідникових діодів	Теоретичне вивчення і експериментальне дослідження випрямляючих властивостей германієвих та кремнієвих діодів, визначення фізичних параметрів діодів по їх вольт-амперних характеристиках.

3	3	Дослідження напівпровідникових стабілітронів	Теоретичне вивчення і експериментальне дослідження електричного пробою електронно-діркового переходу; дослідження характеристик та параметрів напівпровідникових стабілітронів.
4	3	Дослідження тунельних діодів	Вивчення фізичних принципів роботи та експериментальне дослідження вольт-амперних характеристик і параметрів тунельних діодів та їх залежність від температури.
5	4	Дослідження статичних ВАХ біполярного транзистора	Теоретичне вивчення залежностей між струмами та напругами в біполярному транзисторі, дослідження вольт-амперних характеристик у схемах із загальною базою і загальним емітером.
6	4	Дослідження частотних властивостей біполярного транзистора	Теоретичне вивчення факторів, які впливають на частотні властивості транзистора; експериментальне дослідження частотної залежності коефіцієнта підсилення за струмом в схемі із загальною базою і загальним емітером.
7	5	Дослідження тиристорів	Вивчення принципу роботи тиристора, експериментальне дослідження вольт-амперних характеристик, визначення параметрів і залежності їх від температури.
8	6	Дослідження польових транзисторів з керуючим <i>p-n</i> переходом	Теоретичне вивчення принципу роботи та експериментальне дослідження вольт-амперних характеристик і параметрів польового транзистора з керуючим <i>p-n</i> переходом.
9		Підведення підсумків	

## 6. Самостійна робота студента/аспіранта

Розділ	К-ть годин	Теми / види самостійної роботи
2	2 6	1. Розподіл дифузійного і дрейфового струмів в базі <i>p-n</i> переходу 2. Рішення рівняння Пуассона для плавного <i>p-n</i> переходу
3	2 2 4	3. Гетеропереходи 4. Стабістори 5. Резонансно-тунельний діод
4	2 4	6. <i>h</i> -параметри біполярного транзистора 7. Пробій колекторного <i>p-n</i> переходу біполярного транзистора
5	4	8. Високочастотні характеристики тиристорів
2-6	30	Розрахунково графічна робота
3-6	10	Підготовка до виконання лабораторних робіт
1-6	15	Підготовка до екзамену

## Політика та контроль

### 7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

Лекційні заняття проводяться в системі GoogleClassroom. Відвідування лекційних занять є обов'язковим, за кожне пропущене без поважної причини заняття віднімається 1 бал від семестрового рейтингу. Лабораторні заняття проводяться очно і їх відвідування є обов'язковим. В разі відсутності на

лабораторному занятті його слід відпрацювати. Під час он-лайн занять студенти зобов'язані відімкнути звук та відео, окрім доповідача.

Всі види письмових робіт та звітної документації оформлюються відповідно до вимог ДСТУ-3008, як від руки так і на комп'ютері та друкуються (пишуться) на одному боці аркуша А4 білого кольору. У разі оформлення звіту від руки – графіки мають бути наведені на "міліметровці".

Для допуску до вимірювання **лабораторної роботи** необхідно попередньо ознайомитися з інструкціями та відповіді на 1-2 нескладних питання, пов'язаних або з вимірювальним стендом, або з принципом роботи відповідного приладу. Захист лабораторних робіт проводиться в межах звіту. На оформлення звіту і виконання завдань по лабораторній роботі дається 2 тижні. Звіт обов'язково має містити листок вимірів з підписом викладача, або його копію. У разі виявлення ознак недоброчесності в звіті з лабораторної роботи, бали за її виконання анулюються, або студенту за його бажанням надається завдання за темою лабораторної роботи.

Перед першим та другим календарним контролем та на заліковому тижні проводитимуться **модульні контрольні роботи**, які пишуться письмово.

**Індивідуальне завдання (РГР)** – детальний опис характеристик та параметрів реальних приладів (приблизно трьох-чотирьох) для кожного типу напівпровідникових приладів, які були згадані під час лекцій. Прогрес виконання РГР буде перевірятися впродовж семестру через 1-2 тижні після проходження відповідних лекцій. Звіт з РГР подається у вигляді власноруч заповненого зошиту. У разі виявлення ознак недоброчесності в практичній роботі або РГР – робота студента анулюється, а студенту видається нове індивідуальне завдання.

У випадку виконання індивідуальних завдань 1-8 у письмовому вигляді студент може отримати до 3 бонусних рейтингових балів на розсуд викладача.

Для допуску до **іспиту та перескладань** необхідно здати всі лабораторні роботи та РГР, одночасно отримавши семестровий рейтинг не нижче 40 балів. У разі набрання впродовж семестру не менше 60 балів студент має право отримати оцінку "автоматом", або відмовитися від такої можливості і піти на іспит. В останньому випадку семестровий рейтинг анулюється і оцінка виставляється виключно по результатам екзамену. Іспит є письмовим, або усним за вибором студента. Усний білет на іспиті складається з 3-х питань, а письмовий – з 10-ти, по тематиці змістовних модулів, що виносяться на аудиторні заняття, та окремих питань, які виносяться на самостійне опрацювання.

Для допуску на перескладання залишається необхідним здати всі лабораторні роботи та РГР.

## 8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

**Поточний контроль:** виконання РГР та захист лабораторних робіт.

**Календарний контроль:** модульна контрольна робота.

**Семестровий контроль:** екзамен

**Умови допуску до семестрового контролю:** виконання всіх лабораторних робіт, РГР та отримання семестрового рейтингу не нижче 40 балів.

### 1. Система рейтингової оцінки по видам занять:

№ з/п	Заняття, що підлягають рейтинговій оцінці	Загальна кількість завдань	Максимальний бал за 1 завдання	Кількість балів на "відмінно"
1	МКР	2	20	40
2	РГР	1	25	25
3	Лабораторні роботи	7	5	35
<b>Усього за семестр</b>				<b>100</b>
Бонусне завдання: написання реферату з темою індивідуального завдання 1-8		8	2	16

### 2. Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре

84-75	Добре
74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

3. Якщо з об'єктивних обставин кількість занять змінюється, семестрові бали, наведені у п. 1, відповідним чином корегуються.

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** асистент кафедри мікроелектроніки, доктор філософії, Шевлякова Ганна Вікторівна.

**Ухвалено** кафедрою мікроелектроніки (протокол № \_\_\_ від \_\_\_\_\_)

**Погоджено** Методичною комісією факультету (протокол № \_\_ від \_\_\_\_\_)