

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНІ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОНІКИ, ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ
ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ



ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор Інженерного навчально-наукового
інституту ім. Ю.М. Потєбні ЗНУ

Метеленко
(підпис)

Наталія Метеленко

(прізвище, ім'я)

**ФІЗИКА ЕЛЕКТРОННИХ ПРОЦЕСІВ В
НАПІВПРОВІДНИКАХ ТА НАНОСТРУКТУРАХ**

(назва навчальної дисципліни)

РОБОЧА ПРОГРАМА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

підготовки бакалавра

(назва освітнього ступеня)

очної (денної) та заочної (дистанційної) форм здобуття освіти
спеціальності 153/176 Мікро-та наносистемна техніка

(шифр, назва спеціальності)

спеціалізації / предметної спеціальності _____

(шифр і назва)

освітньо-професійна програма Мікро-та наносистемна техніка

(назва)

Укладач / Укладачі: Ніконова А.О., кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
електроніки, інформаційних систем та програмного забезпечення

(ПІБ, науковий ступінь, вчене звання, посада)

Обговорено та ухвалено
на засіданні кафедри електроніки,
інформаційних систем та програмного
забезпечення

Протокол № 9 від "19" грудня 2023 р.
Завідувач кафедри

[Signature]
(підпис)

Т.В. Критська
(ініціали, прізвище)

Погоджено:
Гарант ОП

[Signature]
(підпис)

М.В. Світанько
(ініціали, прізвище)

Ухвалено науково-методичною радою
Інженерного навчально-наукового інституту
ім. Ю.М. Потєбні

Протокол № 5 від "27" грудня 2023р.
Голова науково-методичної ради

[Signature]
(підпис)

Т.А. Шарапова
(ініціали, прізвище)

Погоджено:
Відповідальний за секцію «Технічні науки»

[Signature]
(підпис)

А.І. Безверхий
(ініціали, прізвище)

2024 рік

1. Опис навчальної дисципліни

1	2	3	
Галузь знань, спеціальність, освітня програма рівень вищої освіти	Нормативні показники для планування і розподілу дисципліни на змістові модулі	Характеристика навчальної дисципліни	
		очна (денна) форма здобуття освіти	заочна (дистанційна) форма здобуття освіти
Галузь знань 15 Автоматизація та приладобудування	Кількість кредитів – 5	Обов'язкова	
		Цикл дисциплін Професійної підготовки освітньої програми	
Спеціальність 153 Мікро-та наносистемна техніка	Загальна кількість годин – 150	Семестр:	
		4 -й	7 -й
Освітньо-професійна програма Мікро-та наносистемна	Змістових модулів – 8	Лекції	
		16 год.	8 год.
		Лабораторні	
		16 год.	2 год.
Рівень вищої освіти: бакалаврський	Кількість поточних контрольних заходів – 16	Практичні	
		16 год.	2 год.
		Самостійна робота	
		102 год.	138 год.
		Вид підсумкового семестрового контролю: екзамен	

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Метою викладання навчальної дисципліни «Фізика електронних процесів в напівпровідниках та наноструктурах» є надання студентам поглиблених уявлень в області електронних процесів, що відбуваються в металах та напівпровідниках при дії на них зовнішніх впливів, таких як температура, електричне та магнітне поле, дія світла.

Основними **завданнями** викладання дисципліни «Фізика електронних процесів в напівпровідниках та наноструктурах» є:

- надання студентам знань і розуміння концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування в мікро- та наносистемній техніці;
- розрахунок енергетичних спектрів електронів у кристалах;
- проведення розрахунків основних параметрів, що характеризують електронні процеси в напівпровідниках;
- досліджування температурної залежності провідності напівпровідників

та металів, визначення ділянки власної та домішкової провідності н/п та ділянки виснаження домішки;

- розрахунок та побудова енергетичної діаграми контакту метал-напівпровідник та напівпровідник-напівпровідник при різних умовах їх створення.

У результаті вивчення навчальної дисципліни студент повинен набути таких результатів навчання (знання, уміння тощо) та компетентностей:

Заплановані робочою програмою результати навчання та компетентності	Методи і контрольні заходи
1	2
<p>Загальні компетентності:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ЗК1. Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях. 	<p>Методи: Практичні методи (контрольні роботи, складання схем, практичні роботи). Метод формування пізнавального інтересу (навчальна дискусія).</p>
<p>Спеціальні (фахові, предметні) компетентності:</p> <ul style="list-style-type: none"> - СК1. Здатність використовувати знання і розуміння наукових фактів, концепцій, теорій, принципів і методів для проектування та застосування мікро- та наносистемної техніки. - СК4. Здатність застосовувати відповідні наукові та інженерні методи, сучасні інформаційні технології і комп'ютерне програмне забезпечення, комп'ютерні мережі, бази даних та Інтернет-ресурси для розв'язання професійних задач в галузі мікро- та наносистемної техніки. - СК5. Здатність ідентифікувати, класифікувати, оцінювати і описувати процеси у мікро- та наносистемній техніці за допомогою побудови і аналізу їх фізичних і математичних моделей - СК7. Здатність розв'язувати інженерні задачів галузі мікро- та наносистемної техніки з урахуванням всіх аспектів розробки, проектування, виробництва, експлуатації та модернізації. - СК8. Здатність визначати та оцінювати характеристики та параметри матеріалів мікро- та наносистемної техніки, аналогових та цифрових електронних пристроїв, мікропроцесорних систем. - СК10. Здатність розуміти та застосовувати технологічні принципи виробництва, випробування, експлуатації та ремонту мікро- та наносистемної техніки та біомедичного обладнання. 	<p>Методи: Дослідницький (самостійна робота, проекти). Наочні методи (схеми, моделі). Практичні методи (контрольні роботи, складання схем і алгоритмів).</p>
<p>Програмні результати навчання:</p>	<p>Методи:</p>

<ul style="list-style-type: none"> – ПРН1. Застосовувати знання принципів дії пристроїв і систем мікро- та наносистемної техніки при їхньому проектуванні та експлуатації. – ПРН3. Застосовувати знання і розуміння фізики, відповідні теорії, моделі та методи для розв'язання практичних задач синтезу пристроїв мікро- та наносистемної техніки. – ПРН4. Оцінювати характеристики та параметри матеріалів пристроїв мікрота наносистемної техніки, знати та розуміти основи твердотільної та оптичної електроніки, наноелектроніки, електротехніки, аналогової та цифрової схемотехніки, мікропроцесорної техніки. – ПРН14. Вміти засвоювати нові знання, прогресивні технології та інновації, знаходити нові нешаблонні рішення і засоби їх здійснення. 	<p>Методи контролю і самоконтролю (усний, письмовий, програмований). Контрольні заходи: теоретичне тестування за змістовим модулем; надання звіту із виконання лабораторної роботи; підсумкове тестування</p>
---	---

Міждисциплінарні зв'язки. Для засвоєння навчального матеріалу курсу «Фізика електронних процесів в напівпровідниках та наноструктурах» необхідні знання дисциплін «Фізика». Курс є основою для подальшого вивчення дисциплін «Функціональна електроніка»

3. Програма навчальної дисципліни

Змістовий модуль 1. Електронні стани та провідність твердих тіл

Елементарна теорія електропровідності. Класифікація речовин за питомим опором. Власні напівпровідники. Домішкові напівпровідники. Рівноважні та нерівноважні носії заряду. Механізми провідності напівпровідників. Енергетична діаграма власного та домішкового напівпровідників

Змістовий модуль 2. Основи зонної теорії напівпровідників

Рівняння Шредингера. Адіабатичне наближення та валентна апроксимація. Основні положення статистики електронів. Функція розподілення Фермі-Дірака. Концентрація електронів та дірок власних і домішкових напівпровідників. Вироджені та невироджені напівпровідники.

Змістовий модуль 3. Генерація та рекомбінація нерівноважних носіїв заряду

Види генерації та рекомбінації напівпровідників. Кінетика генерації і рекомбінації носіїв заряду у напівпровідниках. Рівняння неперервності.

Дифузія та дрейф носіїв заряду. Дифузія та дрейф нерівноважних носіїв заряду в монополярному напівпровіднику. Рівняння Ейнштейна. Коефіцієнт дифузії.

Змістовий модуль 4. Кінетичні та контактні явища в напівпровідниках

Термоелектричні явища. Термоелектрорушійна сила. Ефект Зеебека. Ефект Томсона. Ефект Пельть'є. Гальваноманітні ефекти. Фізичний зміст ефекту Холла. ЕРС Хола. Маніторезистивний ефект (Ефект Гауса)

Змістовий модуль 5. Ефекти в сильних електричних полях

Ефект Гана. Долинна структура напівпровідників. Вольт-амперна характеристика діода Гана. Умови виникнення домену. Технологічні особливості діоду Гана. Ударна іонізація. Залежність коефіцієнту ударної іонізації від напруженості електричного поля в різних напівпровідниках. Напівпровідник у зовнішньому полі

Змістовий модуль 6. Напівпровідник у зовнішньому полі

Робота виходу. Електронна спорідненість. Контактна різниця потенціалів. Види контактів. Контакт електронного та діркового напівпровідників. Енергетичні діаграми контактів двох напівпровідників при різних умовах створення та різних напрямках зовнішнього поля

Змістовий модуль 7. Контакт метал-напівпровідник

Енергетичні діаграми контакту метал-напівпровідник з урахуванням впливу зовнішнього поля. Омічні контакти. Вольт-амперна характеристика контакту. Гетероперехід. Ізотипний та анізотипний гетеропереходи. Етапи побудови енергетичної діаграми гетеропереходу. Вольт-амперна характеристика гетеропереходу без впливу зовнішнього поля та в зовнішньому полі

Змістовий модуль 8. Фотопровідність.

Внутрішній фотоэффект. Фотопровідність напівпровідників. Зовнішній фотоэффект. Власне поглинання при прямих переходах. Власне поглинання при непрямих переходах. Ексітонне поглинання. Поглинання вільними носіями. Поглинання домішками.

4. Структура навчальної дисципліни

Змістовий модуль	Усього годин	Аудиторні (контактні) години								Самостійна робота, год		Система накопичення балів		
		Усього Годин		Лекційні Заняття, год		Практичні заняття, год		лабораторні заняття, год				Теор. зав-ня, к-ть балів	Практ зав-ня, к-ть балів	Усього балів
		о/д ф.	з/ди ст ф.	о/д ф.	з/ди ст ф.	о/д ф.		о/д ф.	з/дис ф.					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	15	6	3	2	1	2	1	2	1	9	12	4	4	8
2	15	6	3	2	1	2	1	2	1	9	12	4	4	8
3	15	6	1	2	1	2		2		9	14	4	4	8
4	15	6	1	2	1	2		2		9	14	4	4	8
5	15	6	1	2	1	2		2		9	14	4	4	8
6	15	6	1	2	1	2		2		9	14	4	4	8
7	15	6	1	2	1	2		2		9	14	3	3	6
8	15	6	1	2	1	2		2		9	14	3	3	6
Усього за змістові модулі	120	48	12	16	8	16	2	16	2	72	108	30	30	60
Підсумковий семестровий контроль екзамен	30									30	30	20	20	40
Загалом		150										100		

5. Теми лекційних занять

№ змістового модуля	Назва теми	Кількість годин	
		д.ф.	з.ф.
1	Класифікація речовин за питомим опором. Власні напівпровідники. Носії заряду та механізми провідності напівпровідників	2	1
2	Рівняння Шредингера. Адіабатичне наближення та валентна апроксимація. Функція розподілення Фермі-Дірака.	2	1
3	Концентрація електронів та дірок. Власний та домішковий напівпровідники. Види генерації та рекомбінації. Рівняння неперервності	2	1
4	Ефект Зеебека . Ефект Томсона. Ефект Пельть'є	2	1
5	Ефект Холла. Ефект Гана. Ударна іонізація	2	1
6	Робота виходу. Електронна спорідненість. Контакт електронного та діркового напівпровідників.	2	
7	Контакт метал-напівпровідник Гетероперехід	2	1
8	Внутрішній фотоефект. Зовнішній фотоефект.	2	1
Разом		16	8

6. Теми лабораторних занять4

№ змістового модуля	Назва теми	Кількість Годин	
		д.ф.	з.ф.
1	Дослідження питомого опору напівпровідників чотирьохзондовим методом	2	1
2	Залежність провідності напівпровідника та металу від температури	2	1
3	Ефект Холла.	2	
4	Дослідження залежності коефіцієнта Холла від температури	2	
5	Дослідження ефекту Ганна	2	
6	Побудова енергетичної діаграми контакту Ме-напівпровідник	2	
7	Дослідження часу життя методом модуляції провідності	2	
8	Дослідження спектру поглинання напівпровідників	2	
Разом		16	2

7. Теми практичних занять

№ змістового Модуля	Назва теми	Кількість Годин	
		д.ф.	з.ф.
1	Класифікація речовин за питомим опором. Питома провідність	2	1
2	Розрахунок власної концентрації напівпровідників	2	1
3	Енергетична діаграма домішкового напівпровідника	2	
4	Залежність рівня Фермі від температури власного та домішкового напівпровідників	2	
5	Рішення задач на тему «Гальваномагнітні явища»	2	
6	Контакт метал-напівпровідник. Енергетична діаграма	2	
7	Гетероперехід. Енергетична діаграма	2	
8	Розрахунок часу життя носіїв заряду при наявності зовнішнього впливу	2	
Разом		16	2

8. Самостійна робота

№ теми з/прогр.	Назва теми	Кількість Годин	
		д.ф.	з.ф.
1	Донорні і акцепторні домішкові стани.	9	12
2	Особливості дифузії заряджених часток, співвідношення Ейнштейна.	9	12
3	Залежність електропровідності металів від температури.	9	14
4	Основні механізми домішкового, фононного та міждолинного розсіювання	9	14
5	Розігрів електронного газу, вплив від розсіювання	9	14
6	Тунельний ефект	9	14
7	Ефект Зінера, особливість електростатичного «пробою».	9	14
8	Ізотипні та анізотипні гетеропереходи	9	14
	Підготовка до підсумкового контролю	30	30

Разом	102	138
-------	-----	-----

8

9. Види і зміст поточних контрольних заходів

№ змістового модуля	Види поточних контрольних заходів	Зміст поточного контрольного заходу	*Критерії оцінювання	Усього балів
1	2	3	4	5
1	Тест 1	Питання для підготовки: Елементарна теорія електропровідності. Класифікація речовин за питомим опором. Власні напівпровідники. Носії заряду та механізми провідності напівпровідників.	Тестові питання оцінюються: правильно/ неправильно. Кількість питань –10 Правильна відповідь оцінюється у 0,4 бали.	4
	Лабораторна робота 1	Вимоги до виконання та оформлення: Лабораторна робота у вигляді файлів Word Document завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	Лабораторна робота за змістовим модулем оцінюється від 1 до 4 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті роботи.	4
Усього за ЗМ 1				8
2	Тест 2	Питання для підготовки: Рівняння Шредингера. Адіабатичне наближення та валентна апроксимація. Основні положення статистики електронів. Функція розподілення Фермі-Дірака. Концентрація електронів та дірок власних та домішкових напівпровідників	Тестові питання оцінюються: правильно/ неправильно. Кількість питань – 10. Правильна відповідь оцінюється у 0,4 бали.	4
	Лабораторна робота 2	Вимоги до виконання та оформлення: Лабораторна робота завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	Лабораторна робота за змістовим модулем оцінюється від 1 до 4 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті роботи.	4
Усього за ЗМ 2				8
3	Тест 3	Питання для підготовки: Види генерації та рекомбінації напівпровідників. Рівняння	Тестові питання оцінюються: правильно/ неправильно.	4

		неперервності. Дифузія та дрейф носіїв заряду. Рівняння Ейнштейна. Коефіцієнт дифузії	Кількість питань – 10. Правильна відповідь оцінюється у 0,4 бали.	
	Лабораторна робота 3	Вимоги до виконання та оформлення: Лабораторна робота у вигляді файлів завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	Лабораторна робота за змістовим модулем оцінюється від 1 до 4 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті роботи	4
Усього за ЗМ 3				8
4	Тест 4	Питання для підготовки: Термоелектричні явища. Ефект Зеєбека. Ефект Томсона. Ефект Пельтьє. Гальваномагнітні ефекти. Ефект Холла. Магніторезистивний ефект (Ефект Гауса)	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 10. Правильна відповідь оцінюється у 0,4 бали.	4
	Лабораторна робота 4	Вимоги до виконання та оформлення: Лабораторна робота завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	Лабораторна робота за змістовим модулем оцінюється від 1 до 4 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті роботи.	4
Усього за ЗМ 4				8
5	Тест 5	Питання для підготовки: Ефект Гана. Долинна структура напівпровідників. Вольтамперна характеристика діода Гана. Ударна іонізація. Напівпровідник у зовнішньому полі	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 10 Правильна відповідь оцінюється у 0,4 бали.	4
	Лабораторна робота 5	Вимоги до виконання та оформлення: Лабораторна робота завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	Лабораторна робота за змістовим модулем оцінюється від 1 до 4 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті роботи.	4
Усього за ЗМ 5				8
6	Тест 6	Питання для підготовки: Робота виходу. Електронна спорідненість. Контактна різниця потенціалів. Види контактів. Контакт електронного та діркового	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 10. Правильна відповідь	4

		напівпровідників.	оцінюється у 0,4 бали.	
	Лабораторна робота 6	Вимоги до виконання та оформлення: Лабораторна робота завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	Лабораторна робота за змістовим модулем оцінюється від 1 до 4 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті роботи.	4
Усього за ЗМ 6				8
7	Тест 7	Питання для підготовки: Контакт метал-напівпровідник. Вольт-амперна характеристика переходу. Вплив зовнішнього поля. Гетероперехід. Фотопровідність. Внутрішній фотоефект. Фотопровідність напівпровідників. Зовнішній Фотоефект.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 10. Правильна відповідь оцінюється у 0,3 бали.	3
		Вимоги до виконання та оформлення: Лабораторна робота завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	Лабораторна робота за змістовим модулем оцінюється від 1 до 3 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті роботи.	3
Усього за ЗМ 7				6
8	Тест 8	Питання для підготовки: Фотопровідність. Внутрішній фотоефект. Фотопровідність напівпровідників. Зовнішній Фотоефект.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 10. Правильна відповідь оцінюється у 0,3 бали.	3
		Вимоги до виконання та оформлення: Лабораторна робота завантажена на сайт системи Moodle ЗНУ.	Лабораторна робота за змістовим модулем оцінюється від 1 до 3 балів з урахуванням відповідей на запитання при захисті роботи.	3
Усього за ЗМ 8				6
Усього за змістові модулі				60

10. Підсумковий семестровий контроль

Форма	Види підсумкових контрольних заходів	Зміст підсумкового контрольного заходу	Критерії оцінювання	Усього балів
1	2	3	4	5
Екзамен	Тестування	Питання для підготовки завантажені на сайт системи Moodle ЗНУ. Тестування передбачає обмежену у часі відповідь на теоретичні питання. У разі дистанційної форми навчання екзамен проходить у тестовій формі через платформу Moodle.	Тестові питання оцінюються: правильно/неправильно. Кількість питань – 20. Правильна відповідь оцінюється у 1 бал.	20
	Розв'язання задачі	Індивідуальне завдання з розрахунку параметрів електронно-діркового переходу та контакту метал-напівпровідник, яке містить графічну частину побудови енергетичної діаграми. Варіанти завдань наведені у методичних вказівках до самостійної роботи.	Задача складається з 2 практичних завдань, за кожне з яких студент може отримати до 10 балів, з урахуванням відповідей на запитання при захисті роботи.	20
Усього за підсумковий семестровий контроль				40

Шкала оцінювання: національна та ECTS

За шкалою ECTS	За шкалою університету	За національною шкалою	
		Екзамен	Залік
A	90 – 100 (відмінно)	5 (відмінно)	Зараховано
B	85 – 89 (дуже добре)	4 (добре)	
C	75 – 84 (добре)		
D	70 – 74 (задовільно)	3 (задовільно)	

E	60 – 69 (достатньо)		
FX	35 – 59 (незадовільно – з можливістю повторного складання)	2 (незадовільно)	Не зараховано
F	1 – 34 (незадовільно – з обов'язковим повторним курсом)		

11. Рекомендована література

Основна:

1. Ніконова А.О., Небеснюк О.Ю., Ніконова З.А. Фізика електронних процесів. Конспект лекцій. Частина 1. Запоріжжя: ЗДІА, 2017. 60с.
2. Ніконова А.О., Небеснюк О.Ю., Ніконова З.А. Фізика електронних процесів. Конспект лекцій. Частина 2. Запоріжжя: ЗДІА, 2018. 82с.
3. Ніконова А.О., Небеснюк О.Ю. Фізика електронних процесів. Метод. вказівки до самостійної роботи та практичних занять. Запоріжжя: ЗНУ, 2021. 54с.
4. Попик Ю.В. Фізика напівпровідників : підруч. для студ. вищ. навч. закл. затв. МОНУ. Ужгород : ТОВ "ІВА", 2014. 820с.
5. Савчин В.П., Шувар Р.Я. Електронне перенесення в напівпровідниках та напівпровідникових структурах : навч. посіб. рек. МОНУ. Львів : ЛНУ ім. І.Франка,
6. Попик Т.Ю., Хархаліс Л.Ю., Попик Ю.В. Фізика напівпровідників : лабораторний практикум (навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл.) Ужгород : ІВА, 2015. 85с.

Додаткова:

1. Небеснюк О.Ю., Ніконова З.А. Функціональна електроніка : Конспект лекцій. Запоріжжя : ЗДІА, 2002.
2. Ніконова З.А., Небеснюк О.Ю. Твердотіла електроніка : Для студ. напрямку "Електроніка" ЗДІА : Конспект лекцій. Запоріжжя: ЗДІА, 2002, 2прим.
3. Ніконова З.А., Швець Є.Я. Біомедична електроніка : Навч. посібник для ввз. Запоріжжя : ЗДІА, 2003, 105прим.
4. Готра З.Ю., Лопатинський І.Є., Лук'янець Б.Ю., Микитюк З.М. Фізичні основи електронної техніки: підручник. Львів: Бескид Біг, 2004. 880 с.
5. Панасенко М.В., Сенько Є.В., Юрченко М.М. Електроніка і мікросхемотехніка : Аналогові та імпульсні пристрої : Підручник для ввз. Харків: ФОЛІО, 2002, 7 прим.
6. Поп С.С., Шароді І.С. Фізична електроніка : Розділи: емісійні явища. Методи діагностики поверхні. Навчальний посібник. Львів : Євросвіт, 2001, 4 прим.
7. Третяк О.В., Львов В.А., Барабанов О.В. Спін електрона та електронно-діркова рекомбінація в напівпровідниках : Монографія. Київ: Вид. поліграф. центр "Київський університет", 2001, 3 прим.
8. Amos Gilat, Vish Subramaniam. Numerical methods for engineers and scientists: an introduction with applications using MATLAB. 3rd edition. John Wiley & Sons, Inc. 2014. p. 577.
9. Gilat A. MATLAB: An introduction with Applications. Department of Mechanical and Aerospace Engineering The Ohio State University John Wiley & Sons, 2004. 418p.

Інформаційні ресурси:

1. Фізика процесів у напівпровідниках та елементах електроніки: курс лекцій : навчальний посібник / за ред. доктора хімічних наук, проф. Д. М. Фреїка. Івано-Франківськ: Видавництво Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2010. 263 с. Режим доступу: <http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/170/1/M03980.pdf> (дата звернення 31.08.2021)
2. All about Circuits (Electrical Engineering & Electronics Community). Веб-сайт. URL: <http://www.allaboutcircuits.com> (дата звернення 31.08.2021)
3. Electronics Tutorials (Basic Electronics Tutorials and Revision). Веб-сайт. URL: <http://www.electronics-tutorials.ws> (дата звернення 31.08.2021)
4. Electronics Hub (Projects, tutorials, Courses) веб-сайт. URL: <http://www.electronicshub.org> (дата звернення 31.08.2021)
5. Інститут електродинаміки НАН України. Науково-прикладний журнал «Технічна електродинаміка». 2021. №5 URL: <http://www.techmed.org.ua> (дата звернення 31.08.2021)
6. Наукова електронна бібліотека періодичних видань НАН України Науково-прикладний журнал «Технічна електродинаміка». 2017. №5 URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/210>. (дата звернення 31.08.2021)
7. Gilat A. MATLAB: An introduction with Applications. Department of Mechanical and Aerospace Engineering The Ohio State University John Wiley & Sons, 2004. 418p. URL: <https://shannon.ir/Bookme/MATLAB:%20An%20Introduction%20with%20Applications.pdf> (дата звернення 31.08.2021)