

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича  
Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук  
Кафедра кореляційної оптики

**СИЛАБУС**  
**НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**  
**“ХВИЛЕВОДНА ОПТИКА”**  
вибіркова дисципліна

Освітньо-професійна програма – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка  
Спеціальність – № 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка  
Галузь знань – №15 Автоматизація та приладобудування  
Рівень вищої освіти – перший, бакалаврський  
Інститут фізико-технічних та комп'ютерних наук  
Мова навчання – українська  
Розробник – професор кафедри кореляційної оптики, професор доктор фіз-мат наук Мохунь І.І.  
Профайл викладача – <http://ptcsi.chnu.edu.ua/teachers/мохунь-ігор-іванович/>  
Контактний тел. – 0972193715  
E-mail – [i.mokhun@chnu.edu.ua](mailto:i.mokhun@chnu.edu.ua)  
Сторінка курсу в Moodle – <https://moodle.chnu.edu.ua/course/view.php?id=2425>  
Консультації: онлайн-консультації, понеділок з 14.00 до 15.00.

## Анотація

Навчальна дисципліна формує базові уявлення студентів про фізику хвильоводних систем і пристроїв, принципи створення, структуру та складові елементи оптичних інтегральних схем (ОІС) та пристроїв, побудованих на їх основі.

Завдання: В результаті вивчення курсу студент повинен:

Знати:

Теоретичні основи функціонування хвильоводних систем, фізику процесів, які відбуваються при розповсюдженні хвилі по хвильоводу, її модуляції, введенню-виведенню її з ОІС, ефективні параметри та інші характеристики ОІС та її складових елементів, принципи побудови ОІС, основні елементи таких систем та принципи їх роботи, приклади конкретних діючих ОІС обробки інформації, датчиків фізичних величин тощо.

Вміти:

Аналізувати та вимірювати характеристики ОІС, та її складових елементів, розраховувати параметри конкретних ОІС, володіти технікою введення-виведення випромінювання в ОІС.

Змістовні модулі

Основні рівняння розповсюдження електромагнітної хвилі. Рівняння Максвелла. Матеріальні рівняння. Хвильове рівняння. Зміна фази хвилі при її розповсюдженні. Фазова затримка, що вноситься тонким оптичним елементом. Збіраюча лінза. Перетворення Фур'є. Згортка. Кореляція. Реалізація таких перетворень в оптиці. Теорія плоского хвильоводу. Загальний підхід до фізики розповсюдження хвилі у хвильоводі. Оптико-геометричний підхід до фізики плоского хвильоводу. Дисперсійне рівняння хвильоводу. Ефективна товщина хвильоводу. Довжина оптичного "зигзагу". Кількість мод, які можуть розповсюджуватися у хвильоводі. Різниця між коефіцієнтами заломлення хвильоводу та оточуючих шарів. Реальний хвильовід. Дисперсія в хвильовідній системі. Хроматична дисперсія. Модова дисперсія. Градієнтний хвильовід. Елементи введення-виведення (інтегрально-оптичні елементи зв'язку). Призмийний елемент введення-виведення. Решітчастий елемент введення-виведення. Планарні оптичні елементи. Лінзи Люнеберга. Геодезична лінза. Дифракційні лінзи. Електрооптичні пристрої. Модулятори-перемикачі на основі ефекту тунельного перекачування світла, або модулятори-перемикачі на зв'язаних хвильоводах. Модулятори-перемикачі інтерференційного типу. Акусто-оптичні модулятори. Магнітно-оптичні модулятори. Генерація світла в системах інтегральної оптики. Датчики фізичних величин та пристрої на основі решітчастих елементів введення-виведення. Кутомірні датчики. Інтегрально-оптичні пристрої обробки інформаційних сигналів. Інтегрально-оптичні спектроаналізатори сигналів. Інтегрально-оптичні корелятори. Аналого-цифрові перетворювачі. Чотирьох розрядний АЦП. "Оптичний" комп'ютер. Інтегрально-оптичні пристрої як елементи обчислювальних машин. Тенденції і перспективи розвитку інтегральної оптики.

**1. Мета:** Навчальна дисципліна формує базові уявлення студентів про фізику хвильоводних систем і пристроїв, принципи створення, структуру та складові елементи оптичних інтегральних схем (ОІС) та пристроїв, побудованих на їх основі.

Курс є одним з головних при підготовці фахівців спеціальності Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка (Спеціалізація – Фотоніка: комп'ютерні оптичні системи)

Вивчення даної дисципліни сприятиме набуттю наступних компетентностей, визначених Освітньо-науковою програмою:

- **ІК** – Здатність розв'язувати складні задачі і проблеми під час професійної діяльності у галузі оптики та оптичної обробки інформації й у суміжних областях (приладобудування, нанофізика, оптичний зв'язок, біомедична оптика, екологія тощо) або у процесі навчання за програмами вищого рівня, що передбачає проведення досліджень та/або здійснення інновацій та характеризується невизначеністю умов і вимог;
- **ЗК1** – знання спеціальних розділів фундаментальних дисциплін, у обсязі, необхідному для освоєння професійно-орієнтованих дисциплін;
- **ЗК2** – здатність до аналізу та синтезу;
- **ЗК5** – уміння працювати як індивідуально, так і в команді;
- **ЗК6** – уміння ефективно спілкуватися на професійному та соціальному рівнях;
- **ЗК7** – розуміння необхідності навчання протягом життя та трансферу набутих знань;
- **ФК1** – розуміння тенденцій розвитку й сутності актуальних новітніх розробок в області вчення про світло та його застосувань для розв'язання нагальних глобальних проблем (інформатизація, безпекова сфера, нанотехнології, екологія, біомедицина);

- **ФК3** – знання і розуміння сучасних технологічних процесів та систем технологічної підготовки виробництва; технічних характеристик, конструктивних особливостей, призначення і правил експлуатації оптичного та оптико-електронного устаткування й обладнання;
- **ФК4** – здатність застосовувати інформаційно-комунікаційні технології та навички програмування для розв'язання типових завдань дослідницької та інженерної діяльності;
- **ФК5** – здатність використовувати отримані знання та уміння для роботи в промисловості й розуміти необхідність дотримання правил техніки безпеки при виконанні посадових обов'язків;
- **ФК6** – здатність застосовувати професійно-профільовані знання й практичні навички для створення нових та при обслуговуванні існуючих оптичних і оптико-електронних систем та їх складових;
- **ФК10** – здатність самостійно проектувати оптичні та оптико-електронні системи та їх елементи з урахуванням усіх аспектів поставленої задачі;
- **ФК11** – здатність оцінювати доцільність та можливість застосування нових методів і технологій в задачах синтезу комп'ютеризованих оптичних та оптико-електронних систем.

## 2. Результати навчання:

У результаті вивчення даної дисципліни студент має

### Знати:

- **ЗН1** – здатність продемонструвати знання і розуміння математичних методів та фізичних принципів, необхідних для розв'язування інженерних задач й виконання досліджень в області оптики та її застосувань;
- **ЗН2** – здатність продемонструвати знання сучасного стану досліджень, тенденцій розвитку, найбільш важливих розробок та новітніх технологій у галузі оптики;
- **ЗН3** – здатність продемонструвати поглиблені знання в обраній спеціалізації, включаючи знайомство з новітніми публікаціями у міжнародних періодичних фахових виданнях;
- **ЗН4** – здатність продемонструвати розуміння впливу технічних рішень у суспільному, економічному, соціальному та екологічному контексті.

### Уміти:

- **УМ1** – обирати адекватні методи аналізу й моделювати явища та процеси в динамічних системах, а також аналізувати отримані результати;
- **УМ3** – застосовувати отримані знання й практичні навички, адаптувати результати наукових досліджень при створенні нових та експлуатації існуючих оптичних та оптико-електронних комп'ютеризованих систем та їх складових;
- **УМ4** – застосовувати набуті знання і розуміння для розв'язування задач синтезу та аналізу елементів та систем, характерних обраній спеціалізації;
- **УМ5** – здійснювати пошук, аналізувати і критично оцінювати інформацію з різних джерел;
- **УМ6** – ефективно працювати як індивідуально, так і у складі команди;
- **УМ9** – критично аналізувати основні показники функціонування системи й оцінювати використані технічні рішення та обладнання;
- **УМ12** – самостійно спроектувати систему та її елементи з урахуванням усіх аспектів поставленої задачі;
- **Ком2** – уміння представляти та обговорювати отримані результати й здійснювати трансфер набутих знань;
- **АіВ1** – здатність адаптуватись до нових умов та самостійно приймати рішення;
- **АіВ4** – здатність демонструвати розуміння засад охорони праці та їх застосування.



## 3.2. Структура змісту навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	денна форма						Заочна форма					
	усього	у тому числі					усього	у тому числі				
л		п	лаб	інд	с.р.	л		п	лаб	інд	с.р.	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Змістовий модуль 1. Фізичні основи хвилеводної оптики</b>												
<b>Тема 1.</b> Оптичний сигнал і його розповсюдження.		3				4						
<b>Тема 2.</b> Математичні основи хвилеводної оптики та приладів обробки інформації.		3				4						
<b>Тема 3.</b> Теорія оптичного хвилеводу. Загальний підхід.		2				4						
<b>Тема 4.</b> Оптико-геометричний підхід до фізики плоского хвилеводу. Ефективні параметри хвилеводу		2		3		3						
Разом за змістовим модулем 1		10		3		15						
<b>Змістовий модуль 2. Базові елементи інтегральної оптики</b>												
<b>Тема 5.</b> Дисперсія в хвилеводній системі.		3				4						
<b>Тема 6.</b> Реальний хвилевід.		3				4						
<b>Тема 7.</b> Елементи введення-виведення.				3		4						
<b>Тема 8.</b> Планарні оптичні елементи. Модулятори.		3		3		3						
Разом за змістовим модулем 2		10		6		15						
<b>Змістовий модуль 3. Інтегральна оптика в приладах і пристроях</b>												
<b>Тема 9.</b> Датчики фізичних величин. Хвилеводні фільтри.		2		3		4						
<b>Тема 10.</b> Інтегрально-оптичні пристрої обробки інформаційних сигналів. Спектроаналізатори і корелятори.		3		3		4						
<b>Тема 11.</b> Аналого-цифрові перетворювачі. Оптичні логічні елементи.		2				4						
<b>Тема 12.</b> Нейронні і нейронноподібні мержі. Тенденції і перспективи розвитку хвилеводної оптики.		2				3						
Разом за змістовим модулем 3		10		6		15						
УСЬОГО ГОДИН	<b>90</b>	<b>30</b>		<b>15</b>		<b>45</b>						

3.3. Теми семінарських занять  
Семінарські заняття непередбачені

3.4. Теми практичних занять  
Практичні заняття непередбачені

3.5. Теми лабораторних занять

№ з/п	Назва теми
1	Розрахунок параметрів плоского хвилеводу та характеристик хвиль, які розповсюджуються в хвилеводній системі
2	Дослідження характеристик призмового елемента введення-виведення
3	Дослідження хвилеводної системи – призмовий елемент введення-виведення-геодезична лінза
4	Дослідження решітчастого елемента введення-виведення та інтегрально-оптичного кутовимірювального датчика
5	Дослідження двовимірного інтегрально-оптичного кутовимірювального датчика

3.6. Тематика індивідуальних завдань  
Індивідуальні завдання непередбачені

3.7. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми
1	Кількість мод, які можуть розповсюджуватися у хвилеводі.
2	Різниця між коефіцієнтами заломлення хвилеводу та оточуючих шарів.
3	Розповсюдження хвиль в симетричних та асиметричних хвилеводах. Мода та хвиля відсічки. Кількість мод в циліндричних волокнах
4	Генерація світла в системах інтегральної оптики. Напівпровідникові лазери
5	Магніто-оптичні модулятори
6	Умови розповсюдження хвиль в атмосфері. Розповсюдження хвиль в макрохвилеводах.
7	Оптична реалізація нейроподібних мереж

4. Критерії оцінювання результатів навчання з навчальної дисципліни

Шкала оцінювання: національна та ЄКТС

Оцінка за національною шкалою	Оцінка за шкалою ECTS	
	Оцінка (бали)	Пояснення за розширеною шкалою
<b>Відмінно</b>	A (90-100)	відмінно
<b>Добре</b>	B (80-89)	дуже добре
	C (70-79)	добре
<b>Задовільно</b>	D (60-69)	задовільно
	E (50-59)	достатньо
<b>Незадовільно</b>	FX (35-49)	(незадовільно) з можливістю повторного складання
	F (1-34)	(незадовільно) з обов'язковим повторним курсом

## 5. Засоби оцінювання

Опитування на лекціях, допуск та захист лабораторних робіт, поточні та підсумкові (модульні) контрольні роботи, тестування, опитування на екзамені.

### 5.1. Розподіл балів, які отримують студенти

Поточне тестування та самостійна робота											Підсумковий тест (іспит)	Сума	
Змістовий модуль 1				Змістовий модуль 2				Змістовий модуль 3				40	100
T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12		
5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5		

### 5.2. Критерії оцінки оформлення звіту лабораторної роботи

Кількість балів	Критерій оцінки
1-2	Студент невчасно здав звіт, відповіді фрагментарні і неточні
3-4	Студент вчасно здав звіт але звіт оформлений з незначними помилками або дав не вичерпні відповіді
5	Студент вчасно здав звіт і успішно захистив його

### 5.3. Питання, які виносяться на іспит

1. Основні Рівняння. Рівняння Максвелла. Матеріальні рівняння. Хвильове рівняння.
2. Зміна фази хвилі при її розповсюдженні. Фазова затримка, що вноситься тонким оптичним елементом.
3. Лінза як тонкий фазовий елемент.
4. Перетворення Фур'є. Теорема зсуву
5. Перетворення Фур'є. Теорема масштабу
6. Згортка. Геометричне тлумачення
7. Кореляція. Кореляційний критерій подібності сигналів.
8. Перетворення Фур'є від згортки та кореляції двох функцій.
9. Розповсюдження оптичного сигналу в однорідному середовищі
10. Реалізація перетворення Фур'є в оптиці
11. Плоский хвилевід. Загальний підхід до фізики розповсюдження хвилі у хвилеводі. Константи розповсюдження. Моді хвилеводу
12. Оптико-геометричний підхід до фізики плоского хвилеводу. Дисперсійне рівняння хвилеводу. Моді хвилеводу
13. Ефективна товщина хвилеводу. Довжина оптичного "зигзагу"
14. Реальний хвилевід. Спектр хвилеводних мод в реальному хвилеводі.
15. Дисперсія в хвилеводній системі. Модова та хроматичні дисперсії.
16. Градієнтний хвилевід. Особливості розповсюдження хвилі в циліндричному хвилеводі.
17. Елементи введення-виведення (інтегрально-оптичні елементи зв'язку). Призмий елемент введення-виведення. Довжина зв'язку. Перерозподіл енергії в хвилеводі.
18. Елементи введення-виведення (інтегрально-оптичні елементи зв'язку). Решітчастий елемент введення-виведення.
19. Планарні оптичні елементи. Лінзи Люнеберга. Геодезична лінза. Дифракційні лінзи
20. Модулятори-перемикачі на основі ефекту тунельного перекачування світла, або модулятори-перемикачі на зв'язаних хвилеводах.
21. Модулятори-перемикачі інтерференційного типу.
22. Акусто-оптичні модулятори. Абсорбційні модулятори
23. Датчики фізичних величин та пристрої на основі решітчастих елементів введення-виведення. Одномірний кутомірний датчик
24. Датчики фізичних величин та пристрої на основі решітчастих елементів вводу-виводу. Двомірний кутомірний датчик
25. Хвилеводні фільтри на основі явищ аномального відбивання пропускання
26. Інтегрально-оптичні спектроаналізatori сигналів
27. Інтегрально-оптичні корелятори
28. Інтегрально-оптичний корелятор цифрових сигналів
29. Чотирьох розрядний інтегрально-оптичний АЦП.
30. ОІС для обчислювальної техніки. Логічні елементи.

## 5.4. Критерії оцінки усної або письмової відповіді студентів

Кількість балів	Критерій оцінки
1.6-2	Студент дає повну і точну відповідь на поставлене запитання або бере активну участь в обговоренні усіх питань теми і суттєво доповнює відповіді своїх товаришів.
1-1.5	Студент при відповіді на питання припускається незначних неточностей, які не впливають на суть відповіді або правильно доповнює відповіді своїх товаришів на 50% питань теми.
0.6-0.9	Студент при відповіді на питання припускається незначних помилок, які виправляє за допомогою викладача не впливають на суть відповіді або правильно доповнює відповіді своїх товаришів на 30% питань теми.
0.1-0.5	Студент за допомогою викладача фрагментарно відповідає на запитання, проте не в повній мірі володіє мінімальним рівнем знань з даного питання
0	Студент не відповідає на поставлене запитання і не бере участі в обговоренні питань теми.

## 5.4. Запитання для модульного контролю з лекційного курсу

**Модуль 1**

1. Рівняння Максвелла.
2. Матеріальні рівняння. Хвильове рівняння.
3. Зміна фази хвилі при її розповсюдженні. Фазова затримка, що вноситься тонким оптичним елементом.
4. Лінза як тонкий фазовий елемент.
5. Перетворення Фур'є.
6. Перетворення Фур'є. Теорема зсуву
7. Перетворення Фур'є. Теорема масштабу
8. Згортка. Геометричне тлумачення
9. Кореляція. Кореляційний критерій подібності сигналів.
10. Перетворення Фур'є від згортки двох функцій.
11. Перетворення Фур'є від кореляції двох функцій.
12. Розповсюдження оптичного сигналу в однорідному середовищі
13. Реалізація перетворення Фур'є в оптиці
14. Плоский хвилевід. Загальний підхід до фізики розповсюдження хвилі у хвилеводі. Константи розповсюдження. Моді хвилеводу
15. Оптико-геометричний підхід до фізики плоского хвилеводу. Дисперсійне рівняння хвилеводу. Моді хвилеводу
16. Ефективна товщина хвилеводу. Довжина оптичного "зигзагу"

**Модуль 2**

1. Реальний хвилевід. Спектр хвилеводних мод в реальному хвилеводі.
2. Дисперсія в хвилеводній системі. Хроматична дисперсія.
3. Дисперсія в хвилеводній системі. Модова дисперсія.
4. Градієнтний хвилевід.
5. Особливості розповсюдження хвилі в циліндричному хвилеводі
6. Елементи введення-виведення (інтегрально-оптичні елементи зв'язку). Призмовий елемент введення-виведення.
7. Довжина зв'язку. Перерозподіл енергії в хвилеводі
8. Елементи введення-виведення (інтегрально-оптичні елементи зв'язку). Решітчастий елемент введення-виведення.
9. Планарні оптичні елементи. Лінзи Люнеберга.
10. Планарні оптичні елементи. Геодезична лінза.
11. Планарні оптичні елементи. Дифракційні лінзи
12. Електрооптичні пристрої.
13. Модулятори-перемикачі на основі ефекту тунельного перекачування світла, або модулятори-перемикачі на зв'язаних хвилеводах.
14. Модулятори-перемикачі інтерференційного типу.
15. Акусто-оптичні модулятори.
16. Абсорбційні модулятори



### Модуль 3

1. Класифікація інтегрально-оптичних пристроїв за типом з'єднання
2. Класифікація інтегрально-оптичних пристроїв за функціональним призначенням
3. Датчики фізичних величин та пристрої на основі решітчастих елементів введення-виведення. Одномірний кутомірний датчик
4. Датчики фізичних величин та пристрої на основі решітчастих елементів вводу-виводу. Двомірний кутомірний датчик
5. Хвилеводні фільтри на основі явищ аномального відбивання пропускання
6. Інтегрально-оптичні спектроаналізатори сигналів
7. Проведіть оціночний розрахунок роздільної здатності спектроаналізатора за частотою електричного сигналу.
8. Інтегрально-оптичні корелятори з просторовим інтегруванням.
9. Інтегрально-оптичні корелятори з часовим інтегруванням.
10. Інтегрально-оптичний корелятор цифрових сигналів
11. Чотирьох розрядний інтегрально-оптичний АЦП.
12. ОІС для обчислювальної техніки. Логічний елемент на основі резонатора з нелінійністю.
13. Логічний елемент на основі зв'язаних хвилеводів
14. Логічний елемент на основі решітки.

#### 5.5. Запитання для модульного контролю з лабораторних робіт

##### Лабораторна робота №1.

#### Розрахунок параметрів плоского хвилеводу та характеристик хвиль, які розповсюджуються в хвилеводній системі

1. Сформулювати умови, які закладаються при виводі дисперсійного рівняння, що визначає характеристики хвиль, які розповсюджуються в плоскому хвилеводі.
2. Розкрийте зміст умов:
  - Повне внутрішнє відбивання.
  - Умова самоузгодження.
3. Що таке моди хвилеводу
4. Скільки мод може розповсюджуватися у хвилеводі. Описати різницю між симетричним та асиметричним хвилеводами.
5. Різниця між кутовими спектрами хвиль, які можуть існувати в ідеальному та реальному хвилеводах.
6. Ефективні параметри хвилеводу.

##### Лабораторна робота №2

#### Дослідження характеристик призмового елемента введення-виведення

1. Поясніть принцип дії призмового елемента введення-виведення.
2. Що таке довжина зв'язку в системі з призмовим елементом введення-виведення?
3. Чому показник заломлення призми має бути більшим, ніж показник заломлення хвилеводу?
4. Які типи планарних оптичних елементів ви знаєте?
5. Принцип вимірювання кутів на гоніометрі.
6. Які існують методи вимірювання показника заломлення за допомогою гоніометра? Який саме метод використовується в даній роботі?

##### Лабораторна робота №3

#### Дослідження хвилеводної системи - призмовий елемент введення-виведення – геодезична лінза

1. Поясніть принцип дії призмового елемента введення-виведення.
2. Які типи планарних оптичних елементів ви знаєте?
3. Що таке довжина зв'язку?
4. Що таке моди хвилеводу? Яким чином розповсюджується поле у хвилеводі?

##### Лабораторна робота №4

#### Дослідження решітчастого елемента введення-виведення та інтегрально-оптичного кутовимірювального датчика

1. Поясніть принцип дії решітчастого елемента вводу-виводу.
2. Що таке довжина зв'язку в системі з решітчастим елементом зв'язку?
3. Як характеристики поля, що виникає в реальному хвилеводі відрізняються від характеристик поля в ідеальному хвилеводі?
4. Що таке кутова селективність хвилеводної системи?
5. Поясніть принцип роботи кутомірного датчика.

## **6. Форми поточного та підсумкового контролю**

Опитування на лекціях, допуск та захист лабораторних робіт, поточні та підсумкові (модульні) контрольні роботи, тестування, опитування на екзамені.

## **7. Рекомендована література**

### **7.1. Базова**

1. Мохунь І.І, Віктровська Ю.Ю. Інтегральна оптика в інформаційній техніці. – Чернівці, 2018, – 79 с.
2. Интегральная оптика./ Под ред. Т.Тамира.- М.: Мир, 1978.- 344 с.
2. Хансперджер Р. Интегральная оптика: теория и технология.- М.: Мир, 1985.- 379 с.
4. Каток В.Б. Волоконно-оптичні системи зв'язку. – Київ; 1998, – 228 с. (1 прим. та електронна версія, виставлена в локальній мережі ІФТКН).
5. Скларов О.К. Современные волоконно-оптические системы передачи. – М.; Салон-Р, 2001, – 240 с.

### **7.2. Допоміжна**

1. Маркузе Д. Введение в волноводную оптику.- М.: Мир, 1980.- 374 с.
2. Свечников Г.С. Интегральная оптика.- К.: Техніка, 1986.-232 с.
3. Адамс М. Введение в теорию оптических волноводов.- М.: Мир, 1984.- 384 с.
4. Вейнберг В.Б., Саттаров Д.К. Оптика световодов.- Л.: Машиностроение, 1977.- 320 с.
5. Унгер Х.Г. Планарные и волоконные оптические волноводы.- М.: Мир, 1980.- 656 с.

## **8. Інформаційні ресурси**

1. Хвилеводна оптика. Волоконно-оптичні лінії та системи передавання (Цифровий університет. ЧНУ)