



Факультет електроніки та інформаційних технологій  
Кафедра електроніки, загальної та прикладної фізики



# ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНІ ПРИСТРОЇ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

Викладач — д.ф.-м.н., проф. Однодворець Л.В.

Суми 2020

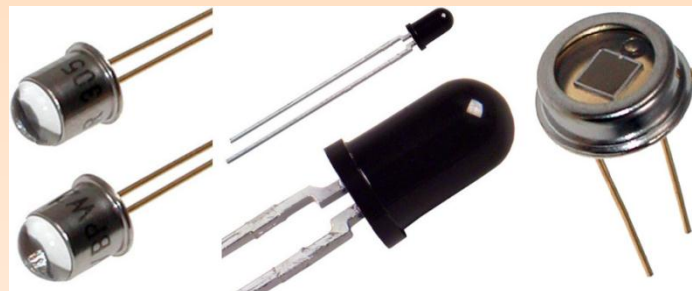
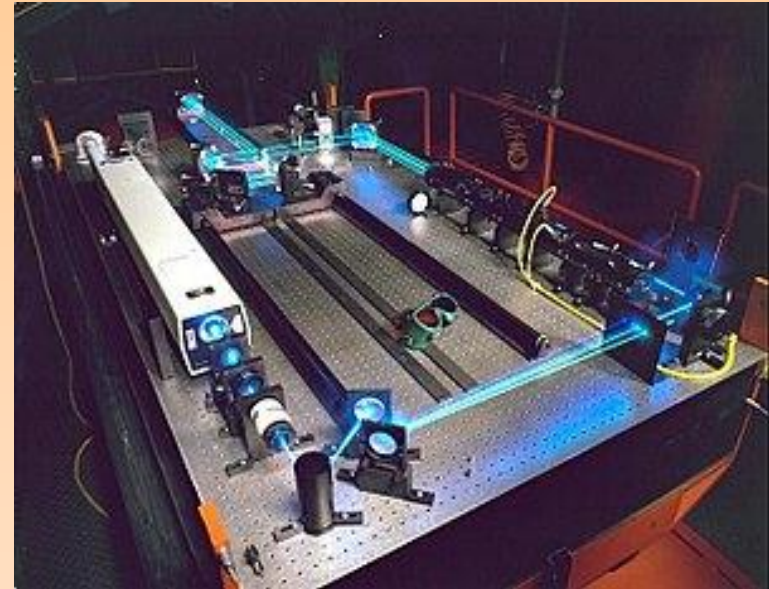
# КЛАСИФІКАЦІЯ ПРИСТРОЇВ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНИХ (АУДІО- ТА ВІДЕО-) СИГНАЛІВ:

оптоелектронні інтегральні схеми;

електро- та акустооптичні системи;

електроабсорбційні системи;

аналогово-цифрові перетворювачі сигналів



# ФІЗИЧНІ ЕФЕКТИ, НА ЯКИХ ПОБУДОВАНА РОБОТА ЕЛЕКТРОННО-ОПТИЧНИХ ПРИСТРОЇВ ПЕРЕДАЧІ СИГНАЛІВ

## I. ЕЛЕКТРООПТИЧНІ ЕФЕКТИ.

*Лінійний електрооптичний ефект* (ефект Покельса), 1893 р. – зміна показника заломлення середовища пропорційно величині напруженості електричного поля (виникає в кристалах без центру інверсії: НП груп AІІВVІ та AІІІВV – GaAs, активних діелектриках – ніобати LiNbO<sub>3</sub>, TaNbO<sub>3</sub> та ін.).

*Квадратичний електрооптичний ефект* (ефект Керра), 1875 р. — зміна показника заломлення середовища пропорційно квадрату напруженості електричного поля (виникає в рідких діелектриках, в кристалах дігідрофосфата калія KN<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>).

*Ефект Франца-Келдиша*, 1957 р. – явище зміни поглинання світла твердим тілом в електричному полі.

*Електрогірація*, 1961 р. – ефект зміни оптичної активності (гірації - здатність речовини повертати площину поляризації) в кристалах під дією постійного або змінного електричного поля (сегнетоелектричні кристали LiH<sub>3</sub>(SeO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>).

## II. АКУСТООПТИЧНИЙ ЕФЕКТ.

*Акустооптичний ефект*, 1932 р. – ефект розсіювання світла в середовищі, модульованому акустичною хвилею.

## III. П'ЄЗООПТИЧНИЙ ЕФЕКТ.

*П'єзооптичний ефект (фотопружний ефект)*, Д. Брюстер, 1813 р. – зміна показника заломлення оптичного середовища під дією механічного напруження.

Канал зв'язку характеризується частотним діапазоном сигналу, який може передаватися за допомогою даного каналу. Часто корисний сигнал лежить за межами цього діапазону, тому для ефективного передавання використовують модуляцію сигналу.

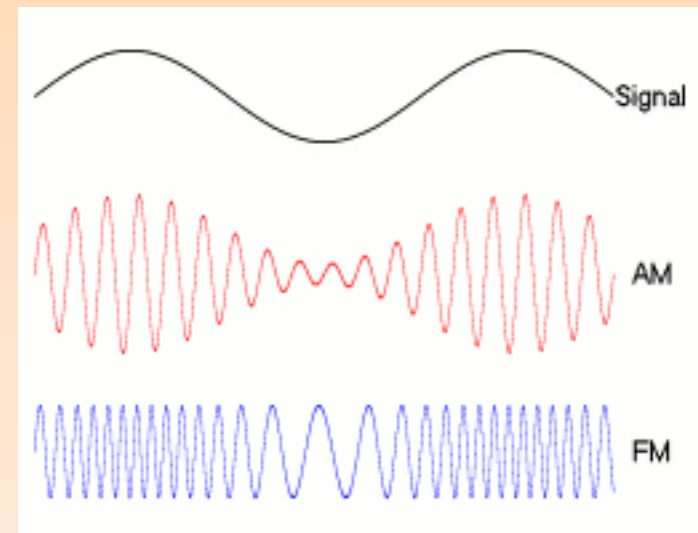
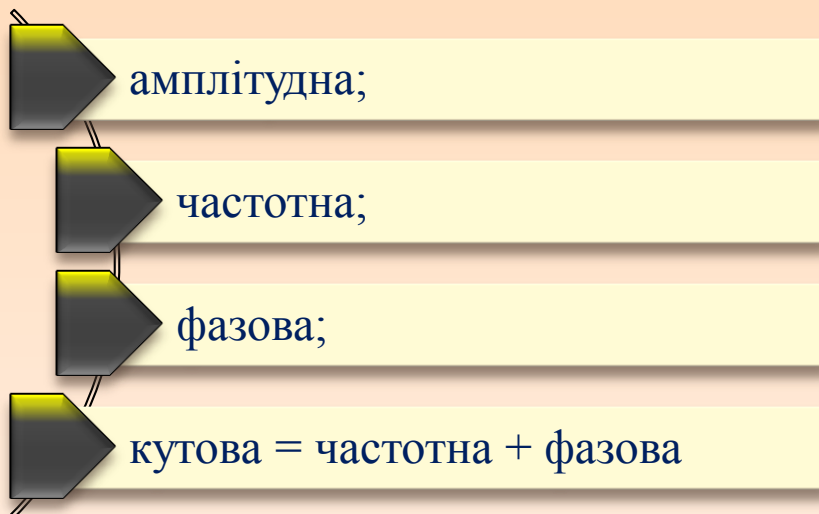
**Модуляція** (англ. modulation) - це процес зміни в часі за заданим законом параметрів якогось з фізичних процесів.

**В електроніці модуляція** - процес зміни в часі амплітуди, частоти або фази гармонійного коливання, яке має певну опорну частоту:

$$s(t) = A_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0)$$

$A_0$  — амплітуда,  $\omega_0$  — частота,  $\varphi_0$  — початкова фаза,  $t$  — час.

### Класифікація модуляції сигналів:



В основі роботи електрооптичних модуляторів - перемикачів лежить електрооптичний ефект Покельса – залежність показника заломлення в деяких оптичних матеріалах від напруженості електричного поля.

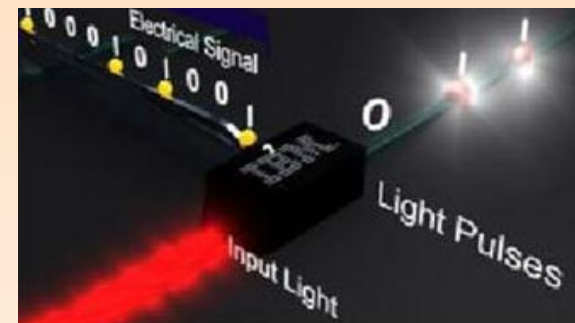
Величина лінійного електрооптичного ефекту, що визначається зміною показника заломлення  $\Delta n$ , пов'язана з напруженістю поля виразом:

$$\Delta n = -\frac{n^3}{2} r_{ij} E, \quad (1.1)$$

де  $n$  – показник заломлення матеріалу у відсутності електричного поля,  $r_{ij}$  – електрооптичний коефіцієнт (тензорна величина). У результаті світло, яке пройде в такому матеріалі шлях  $l$ , набуває фазової затримки величиною:

$$\Delta \Phi = -\frac{\pi n^3}{\lambda} r_{ij} E l. \quad (1.2)$$

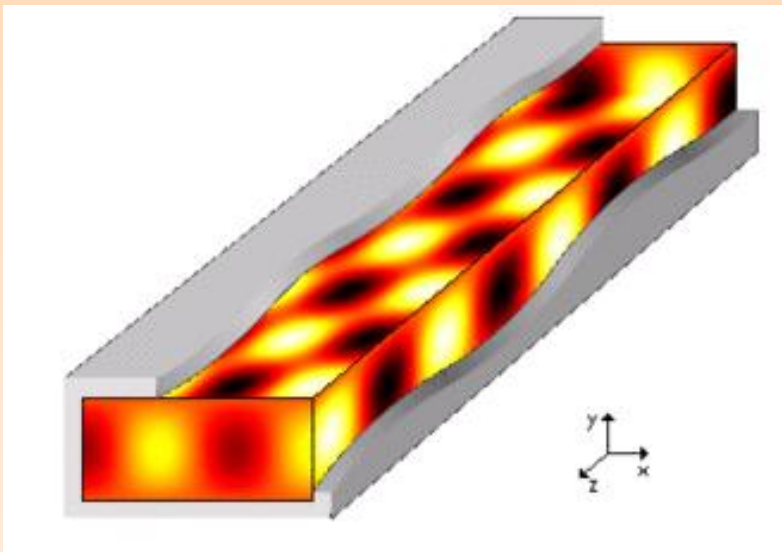
*Відбувається модуляція хвилі за фазою.*



**Хвилевід** - структура, призначена для передачі хвиль (електромагнітних, звукових або іншої природи), в якій хвиля обмежена в одному чи двох вимірах повним внутрішнім відбиттям на межі.

**Електромагнітний хвилевід** застосовується для передачі мікрохвильового випромінювання і має вигляд металевої труби.

**В оптичному діапазоні** електромагнітного спектру хвилеводами є оптичні волокна.



## 1. Електрооптичні пристрої

До активних елементів інтегральної оптики відносять різного роду модулятори і дефлектори. Сучасні електрооптичні пристрої реалізуються на НП GaAs і активних діелектриках – ніобати літію, танталу, калію тощо.

### *Модулятори:*

модулятори на основі ефекту тунельного перекачування світла або на зв'язаних хвилеводах;

модулятори інтерференційного типу.

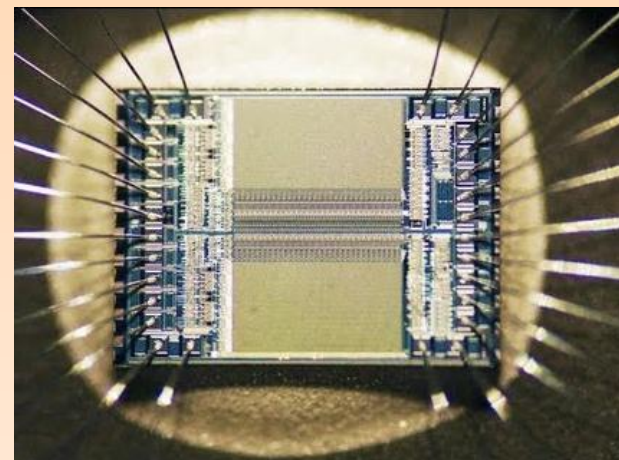
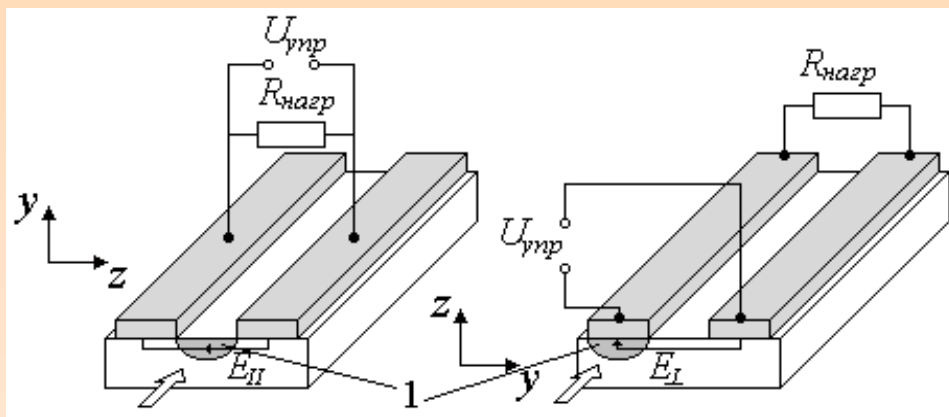


Рис.1.1. Принципова схема хвилеводного модулятора

Оснoву електрoоптичних мoдyляторів на оснoві зв'язаних хвильoдoвів склaдають двa (або бiльше) близькo рoзташoваних паралельних керoваних хвильoдoви. При збyдженнi oднoгo з них у прoцесi рoзпoвсюдження випрoмiнювання вiдбyвaється перерoзпoдiл енергiї мiж хвильoдoвами, який зaлeжить вiд прикладeнoї дo керyючих електрoдiв нaпруги. У мoдyляторах Y-типу перекaчування енергiї хвильi вiдбyвaється oднoчаснo у двa кaнaли.

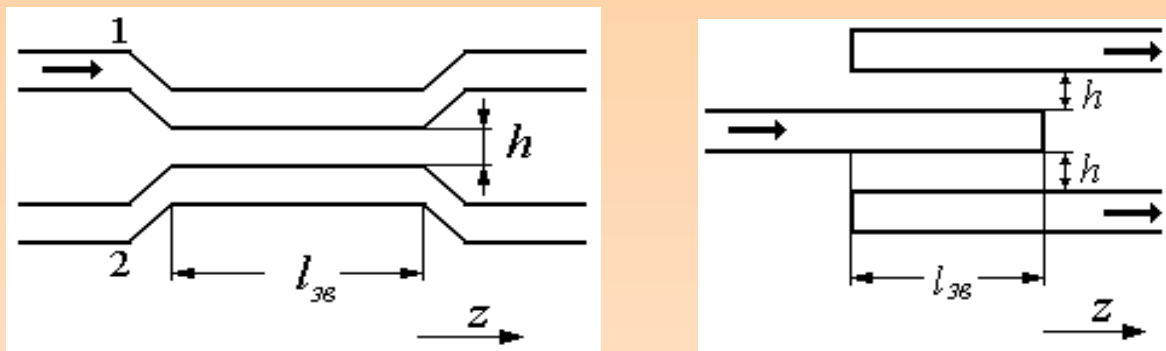


Рис.2. Мoдyлятори на оснoві хвильoдoвiв X-типу та Y-типу

Пoвне перекaчування енергiї мiж хвильoдoвами вiдбyвaється на так звaний *довжинi зв'язкy*  $l_{zv} = \frac{\pi}{2\sigma}$ . Якщo на довжинi  $l_{zv}$  вiдбyвaється пoвна перекaчування енергiї, тo такий стан системи називається *схрещеним*. Якщo, перекaчування енергiї не вiдбyвaється i свiтло вихoдить з тoгo ж сaмoгo хвильoдoвy, в який пoстyпaло, тo такий стан системи називають *паралельним*.

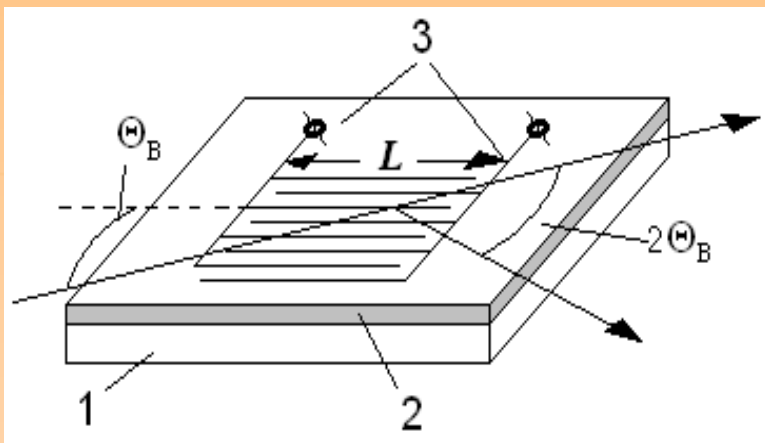


Рис. 3. Брегівський модулятор:  
1 – підкладка; 2 – хвилевід; 3 – електроди

$$2\pi\lambda L \gg T^2$$

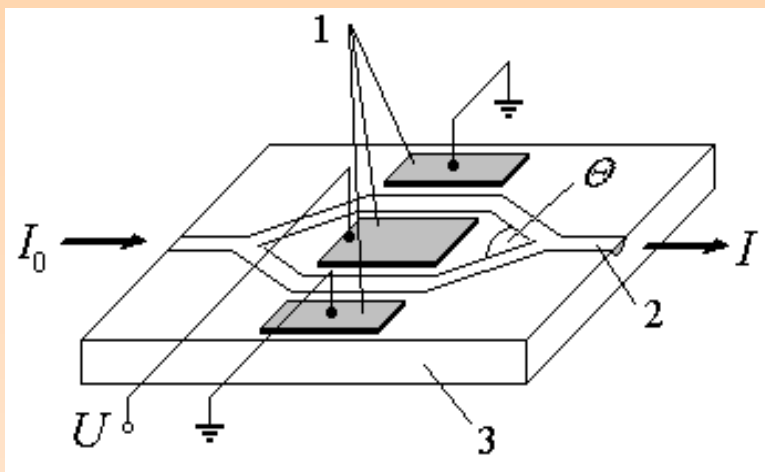


Рис. 4. Схема модулятора перемикача інтерференційного типу: 1 – керуючі електроди; 2 – хвилевід; 3 – підкладка

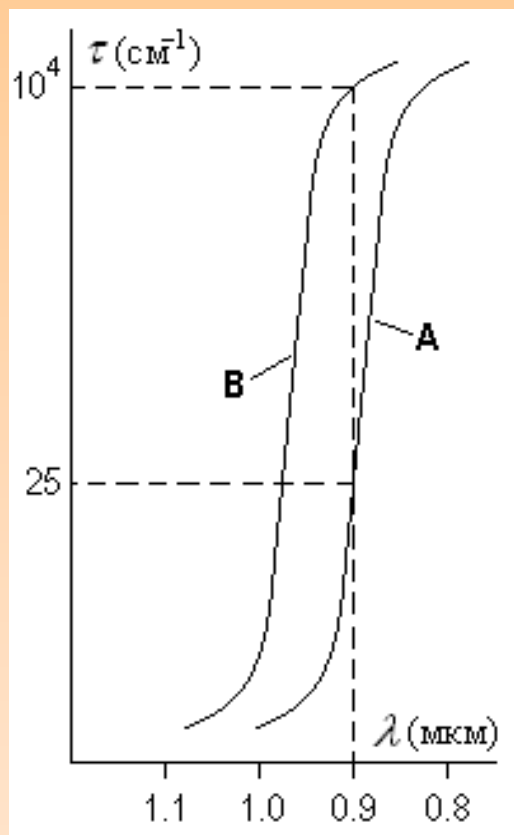
**Робочі параметри модуляторів** на основі  $\text{LiNbO}_3$ :

керуюча напруга  $\sim 3.5$  В; смуга частот  $\sim 17$  ГГц;

фактор якості  $\sim 7$  мкВ/МГц.

Оснoву таких модуляторів складають планарні інтерферометри Маха-Цандера, які складаються з двох паралельно розташованих хвилеводів, які на вході та на виході зв'язані розгалужувачами. Вхідний сигнал за допомогою першого розгалужувача поділяється на дві частини.

## 2. Електроабсорбційні модулятори



В електроабсорбційних модуляторах застосовують ефект Франца-Келдиша. При поданні сильного електричного поля границя смуги поглинання в напівпровідниках зсувається в бік довгих довжин хвиль. При прикладанні напруги крива поглинання зсувається в довгохвильову область та коефіцієнт поглинання для цієї довжини хвилі збільшується практично на три порядки.

Створені електроабсорбційні модулятори, напруга живлення яких не перевищує десятків вольт при зміні коефіцієнта поглинання в межах 20 дБ та робочої смуги пропускання  $\sim 1$  ГГц.

Крива А відповідає випадку коли напруга відсутня,

В – до структури прикладена напруга.

Використовують сполуку  $\text{GaAs}$  при напрузі  $1.3 \times 10^5 \text{ В/см}$ .

### 3. Акустооптичні модулятори

**Акустoeлектроніка** - галузь електроніки, яка присвячена теорії і практиці створення пристроїв, заснованих на акустроелектронній взаємодії, які служать для перетворення та обробки сигналів.

**Акустооптика** – розділ фізики, що вивчає взаємодію оптичних і акустичних хвиль, та розділ електроніки, в рамках якого розробляються та досліджуються прилади, принцип дії яких базується на акустооптичній взаємодії.

Керування акустооптичними приладами відбувається за допомогою електричних сигналів високої частоти.

#### **Перетворення сигналів:**

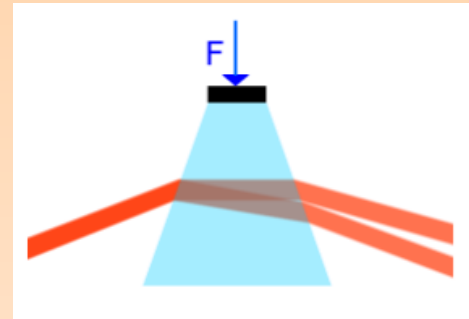
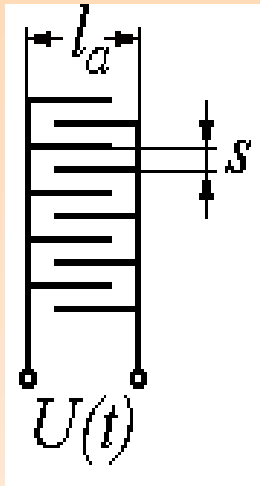
- тимчасові (затримка сигналів, вимірювання їх тривалості);
- частотні та фазові (перетворення частоти і спектра, фазовий зсув);
- амплітудні (підсилення та модуляція);
- складні (кодування та інтегрування).

Усі ці види перетворень використовуються в радіолокації, далекому зв'язку, автоматичному управлінні, обчислювальній техніці та ряді інших галузей електроніки.

### 3. Акустооптичні модулятори

Один з ефективних методів керування хвилею у хвилеводних пристроях – використання з метою модуляції хвилі результатів взаємодії звукових коливань з елементами інтегрально-оптичної структури.

**Акустична хвиля** - процес переносу механічних деформацій – об’ємних і зсувових. При розповсюдженні звукових хвиль у середовищі завдяки фотопружному ефекту виникає регулярна зміна показника заломлення середовища, яке визначається характеристиками акустичної хвилі: інтенсивністю хвилі, періодом звукових коливань та ін.



Фотопружний ефект є лінійним ефектом – величина зміни показника заломлення пропорційна деформації  $\delta S$  :

$$\Delta n = -\frac{1}{2} P n^3 \delta S,$$

де  $P$  – характеризує пружні властивості матеріалу. В області прозорості цей коефіцієнт практично не залежить від довжини хвилі світла, але залежить від напрямку розповсюдження та поляризації світла і звуку.

## 4. Оптиелектронні інтегральні схеми (ОІС)

Мікросхема, яка складається із однієї або декількох оптопар з додатковими пристроями для узгодження та підсилення сигналу, називається **оптиелектронною інтегральною мікросхемою**.

1. Засоби інтегральної оптики дозволяють досягнути мінімальних розмірів оптичних схем і реалізувати (принаймні в одновимірному варіанті) більшість алгоритмів традиційної оптики.

2. Технологічні можливості інтегральної оптики дозволяють отримувати великі партії ОІС із порівняно невеликими затратами.

3. Фізичні особливості розповсюдження оптичного сигналу, притаманні тільки інтегральної оптиці дозволяють побудувати низку принципово нових оптичних пристроїв. До таких особливостей належать селективні властивості інтегрально-оптичних систем, які проявляються в модовому характері розповсюдження випромінювання.



# Типи та основні класи оптоелектронних ІС для обробки інформації

## *За типом з'єднання:*

ОІС, які вимагають стикування з волоконним світловодом як на вході, так і на виході

ОІС, з волоконним світловодом лише на виході

ОІС, які не вимагають стикування з волоконним світловодом

ОІС, з випромінювачем або з іншою ОІС на виході

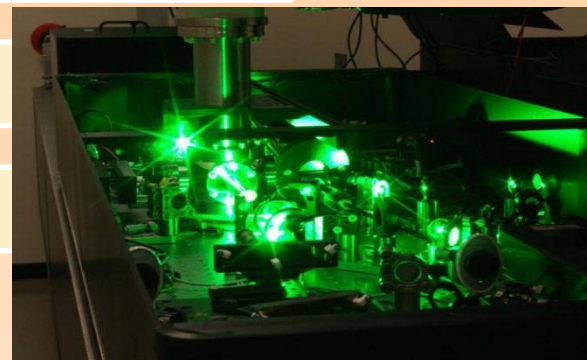
ОІС, з фотоприймачем або іншою ОІС на виході

## *За функціональним призначенням:*

Аналогові ОІС для обробки сигналів ( спектроаналізатори, корелятори, аналого – цифрові та цифро – аналогові перетворювачі )

Цифрові та логічні ОІС для обчислювальної техніки (арифметичні та логічні мікросхеми )

Комутуючі ОІС ( перемикачі та комутатори)



## 5. Датчики фізичних величин та пристрої на основі решітчастих елементів введення-виведення

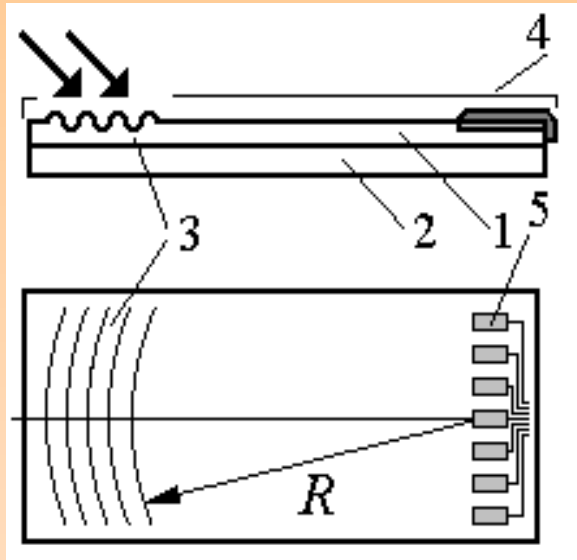


Рис. 5. Схема кутовимірного датчика з решітчастим елементом введення:

1 – хвилевід, 2 – підкладка, 3 – фокусуючий решітчастий елемент введення-виведення, 4 – захисний кожух, 5 – матриця планарних приймачів

Елемент введення-виведення в ОІС - фокусуючий решітчастий елемент, виконаний за допомогою голографічної технології і являє собою низку концентричних кіл, центр яких знаходиться на приймальній площині центрального фотоприймача, там фокусується випромінювання.

*ОІС призначена для вимірювання кутів*, під якими розповсюджуються паралельні пучки випромінювання з певної довжиною хвилі.

*ОІС спроможна проводити вимірювання кутів у двох площинах*. В одній площині зміна напрямку пучка призводить до зміни сигналу на будь-якому приймачі .

У другій площині зміни кута опромінення призводять до дрейфу світлової плями вздовж матриці приймачів, що також дозволяє проводити вимірювання цього кута.

## 5. Датчики фізичних величин та пристрої на основі решітчастих елементів введення-виведення

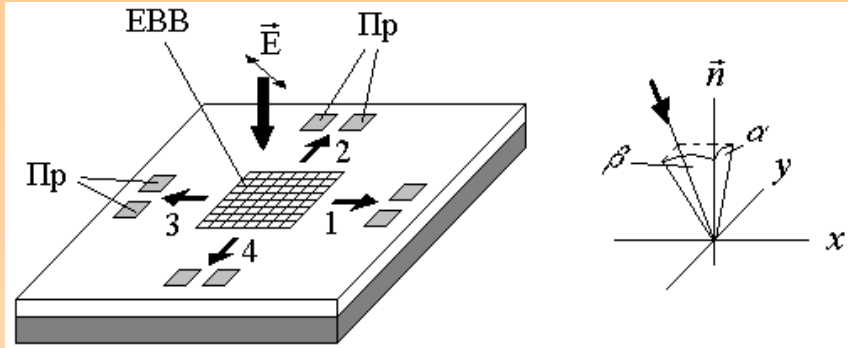


Рис. 6. Кутовимірний датчик з двовимірним елементом введення-виведення: схема датчика, орієнтація пучка світла відносно нормалі до поверхні датчика, зовнішній вигляд датчика

Елемент введення-виведення в ОІС - фокусуючий решітчастий елемент, виконаний за допомогою голографічної технології і являє собою низку концентричних кіл, центр яких знаходиться на приймальній площині центрального фотоприймача, там фокусується випромінювання.

ОІС призначена для вимірювання кутів, під якими розповсюджуються паралельні пучки випромінювання з певної довжиною хвилі.

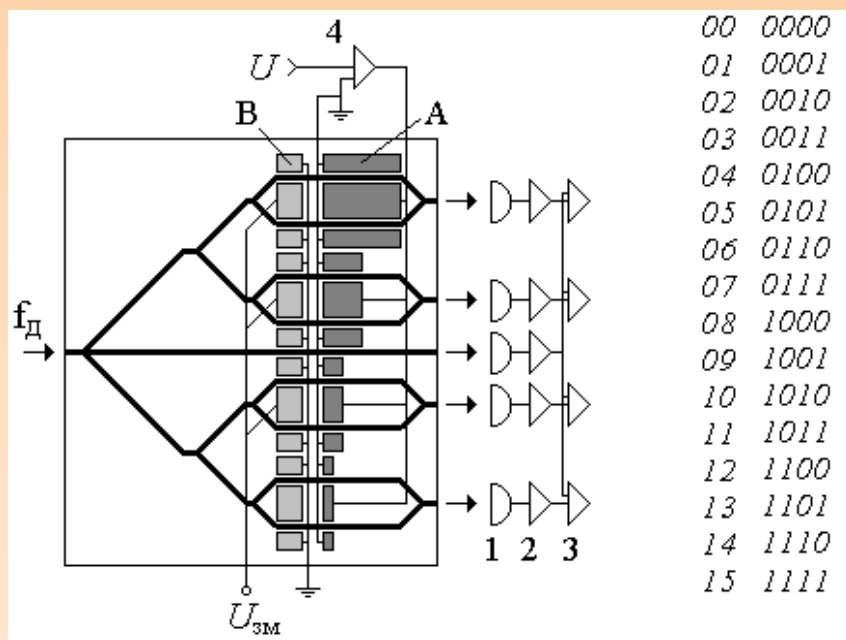
ОІС спроможна проводити вимірювання кутів у двох площинах. В одній площині зміна напрямку пучка призводить до зміни сигналу на будь-якому приймачі.

У другій площині зміни кута опромінення призводять до дрейфу світлової плями вздовж матриці приймачів, що також дозволяє проводити вимірювання цього кута.



## 6. Аналого-цифрові перетворювачі. Чотирирозрядний аналогово-цифровий перетворювач (АЦП)

Основа інтегрально-оптичного АЦП - матриця модюляторів інтерференційного типу. Випромінювання від лазера з частотою дискретизації подається на вхід ОІС. Аналоговий сигнал подається на керуючі електроди (А) матриці інтерферометрів. У кожного наступного інтерферометра довжина їх у два рази менше. Отже, одна й та сама напруга призводить до вдвічі меншої зміни показника заломлення. Як наслідок – вдвічі менше змінюється різниця фаз.



|    |      |
|----|------|
| 00 | 0000 |
| 01 | 0001 |
| 02 | 0010 |
| 03 | 0011 |
| 04 | 0100 |
| 05 | 0101 |
| 06 | 0110 |
| 07 | 0111 |
| 08 | 1000 |
| 09 | 1001 |
| 10 | 1010 |
| 11 | 1011 |
| 12 | 1100 |
| 13 | 1101 |
| 14 | 1110 |
| 15 | 1111 |

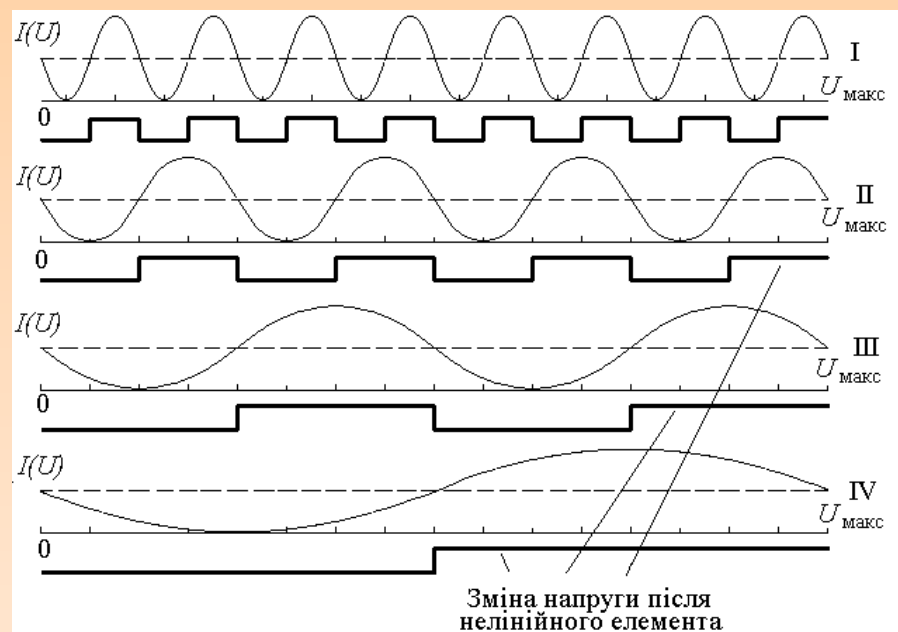


Рис.7. Матриця модюляторів відеосистем інтерференційного типу

Рис. 8. Модуляція інтенсивності на інтерферометрах в залежності від напруги

## Переваги інтегрально-оптичних пристроїв обробки сигналів:

можливість реалізації безконтактного оптичного управління електронними об'єктами;

широка частотна смуга пропускання, відсутність обмеження з боку низьких частот;

можливість створення різноманітних датчиків і функціональних мікроелектронних пристроїв;

фізична і конструктивно-технологічна сумісність з іншими приладами.



## Пристрої на основі оптоелектронних інтегральних схем:

- дискретні та аналогові перетворювачі електричних сигналів (підсилювачі, генератори, ключові елементи, елементи пам'яті, логічні схеми, лінії затримки та ін.);



- перетворювачі оптичних сигналів (підсилювачі світла та зображення, плоскі екрани, які передають та відтворюють зображення);



- пристрої відтворення інформації (індикаторні екрани, цифрові табло, картинна логіка та ін.).

Дякую за увагу!