

## Електродинаміка та техніка НВЧ

# Поляризація електромагнітних хвиль

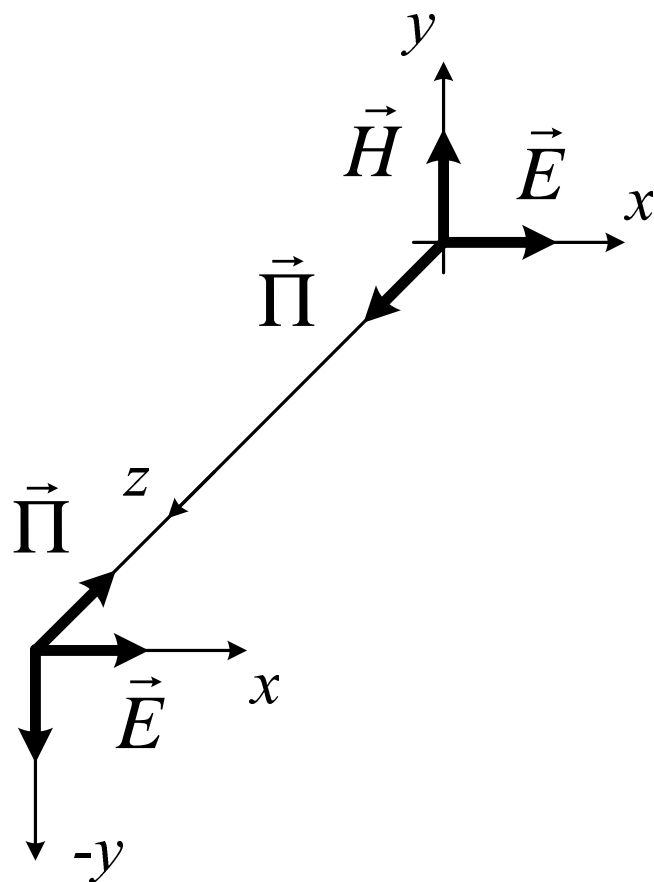
## Загальні положення

*Для описання орієнтації хвилі, яка поширюється у заданому напрямі, існує поняття **поляризації**.*

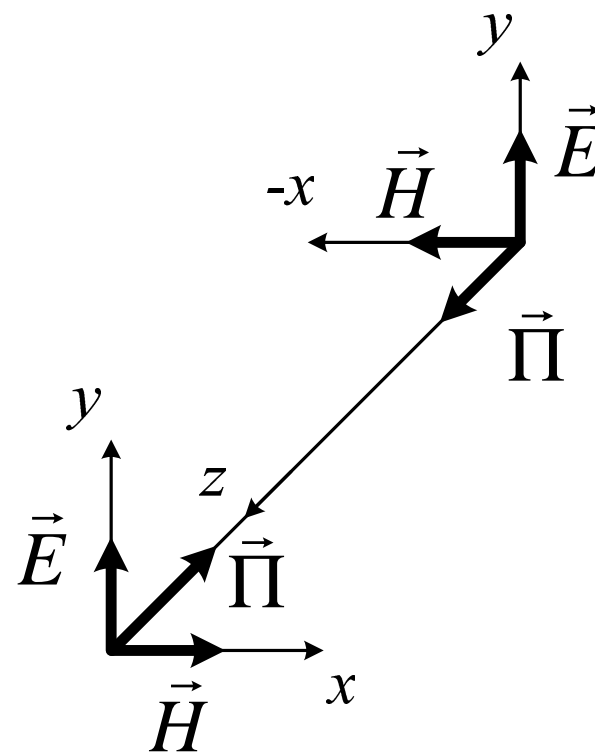
**Площина поляризації** – площина, яка проходить через напрям поширення хвилі та паралельна до вектора напруженості електричного поля.

У цьому контексті *розв'язки 1 і 2* (див. попередню лекцію) *відрізняють лише тим, що їхні площини поляризації перпендикулярні* – наступний слайд.

Розв'язок 1  
**Горизонтальна**  
поляризація



Розв'язок 2  
**Вертикальна**  
поляризація



Всі ці **хвилі лінійно поляризовані.**

## Загальні положення

Постає питання: а якщо накласти дві ортогонально поляризовані хвилі, що буде в результаті?

Оскільки будь-яке накладання таких хвиль з довільними амплітудами і фазами також є електромагнітною хвилею, то будь-яка з площин, що проходить через вісь  $z$ , може бути площиною поляризації.

При поширенні хвилі площина її поляризації може змінювати своє положення відносно напрямку поширення.

## Плоска (лінійна) поляризація

Отже, накладемо електричні поля двох ортогонально поляризованих хвиль:

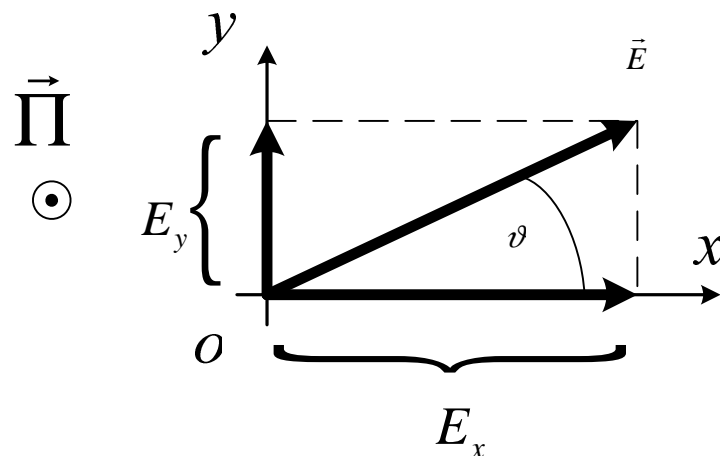
$$\vec{E}_m = \vec{E}_{m1} + \vec{E}_{m2} = (\vec{x}_0 \dot{A} + \vec{y}_0 \dot{C}) e^{-ikz}.$$

Тут взято суму комплексних амплітуд при  $\dot{B} = 0$  та  $\dot{D} = 0$ .

Якщо фази хвиль співпадають  $\dot{A} = A e^{i\varphi}$  та  $\dot{C} = C e^{i\varphi}$ , то накладання таких хвиль буде хвилею, площина поляризації якої буде нерухома та утворює кут

$$\vartheta = \text{arctg} \frac{C}{A}$$

з площиною поляризації першої хвилі (рисунок).



## Колова поляризація

Результат буде інший, якщо фази цих хвиль різні.

Наприклад,  $\dot{A} = Ae^{i\varphi}$  та  $\dot{C} = Ae^{i(\varphi-90^\circ)}$ :

$$\dot{\vec{E}}_m = \dot{\vec{E}}_{m1} + \dot{\vec{E}}_{m2} = (\vec{x}_0 \dot{A} + \vec{y}_0 \dot{C}) e^{-ikz} = (\vec{x}_0 Ae^{i\varphi} + \vec{y}_0 Ae^{i(\varphi-90^\circ)}) e^{-ikz}$$

Звідси, вважаючи для повноти хвилеве число комплексним, маємо:

$$\begin{aligned} \vec{E} &= \text{Re}(\dot{\vec{E}}_m e^{i\omega t}) = \text{Re}\left[(\vec{x}_0 Ae^{i\varphi} + \vec{y}_0 Ae^{i(\varphi-90^\circ)}) e^{-ikz} e^{i\omega t}\right] = \\ &= Ae^{-k'z} [\vec{x}_0 \cos(\omega t - k'z + \varphi) + \vec{y}_0 \sin(\omega t - k'z + \varphi)]. \end{aligned}$$

Звідси кут положення площини поляризації:

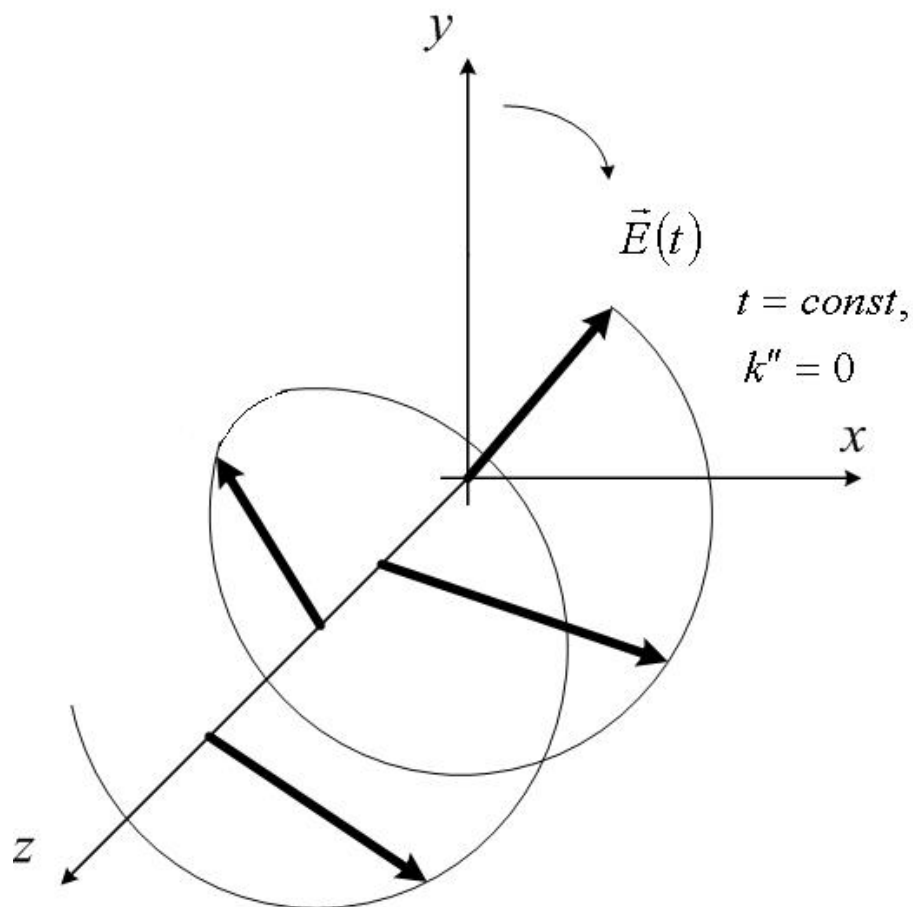
$$\vartheta = \text{arctg} \frac{E_y}{E_x} = \omega t - k'z + \varphi.$$

Цей кут змінюється у часі і просторі – наступний слайд.

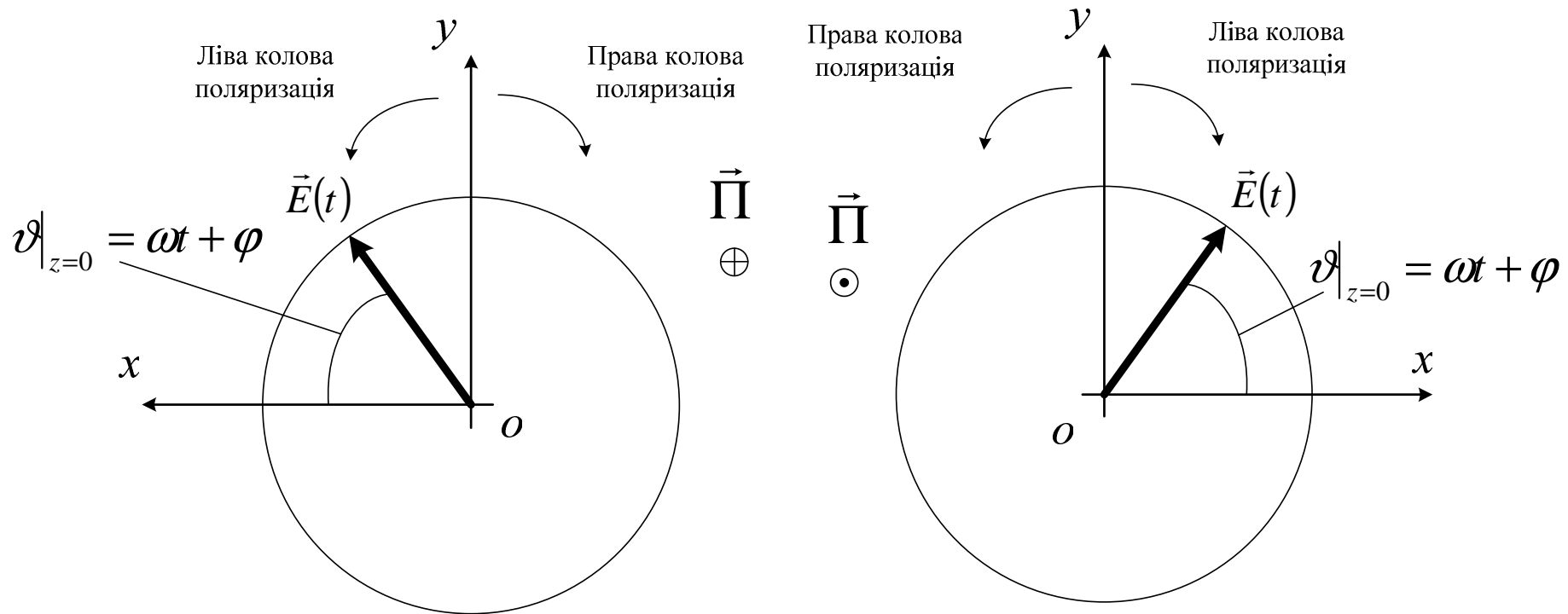
## Колова поляризація

З отриманого результату видно, що у кожній фіксованій точці  $z = \text{const}$  вектор  $\vec{E}$  обертається з кутовою швидкістю  $\omega$  а у фіксований момент часу  $t$  розподіл поля уздовж вісі такий, що кінець вектора  $\vec{E}$  “ковзає по гвинтовій лінії”.

Це хвиля **колової поляризації**, а саме **лівої колової поляризації**.



## Колова поляризація



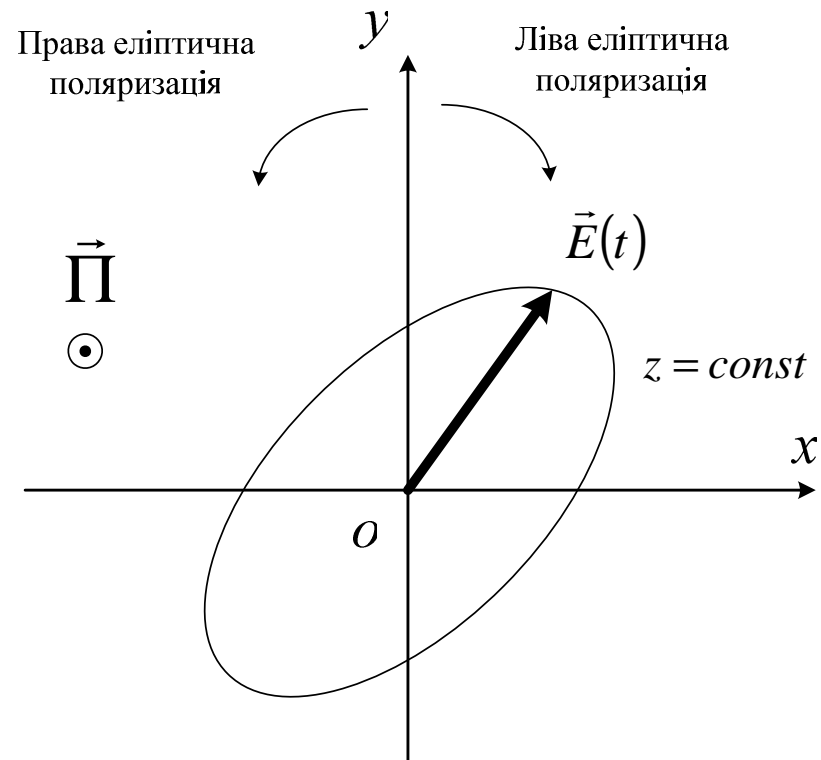
**Права колова поляризація** відповідає випадку  $\dot{A} = Ae^{i\varphi}$  та  $\dot{C} = Ae^{i(\varphi+90^\circ)}$ , тобто обертання у протилежному напрямку.

Якщо вектор обертається за годинниковою стрілкою, то це буде **права колова поляризація**. Якщо вектор обертається проти годинникової стрілки, то це буде **ліва колова поляризація**. Таке визначення видів поляризації **введено за умови, що ЕМХ поширюється від спостерігача**.



## Еліптична поляризація

Якщо ж маємо **накладання** (суперпозицію) **двох хвиль з довільними амплітудами та фазами**, то **результуюча хвиля матиме еліптичну поляризацію**. Тобто при обертанні вектор електричного поля змінюється за значенням, а його кінець описує еліпс.



Орієнтацію та ексцентриситет цього еліпса визначатиме співвідношення комплексних амплітуд  $\dot{A}$  та  $\dot{C}$ .

## Суперпозиція біжучих хвиль протилежних напрямів

До цього часу розглядалися властивості суперпозиції хвиль одного напрямку.

Розглянемо тепер суперпозицію двох хвиль протилежних напрямів – так званих падаючої та біжучої хвиль.

Нехай вони при цьому мають однакові амплітуди, але різні початкові фази:

$$\dot{A} = Ae^{i\varphi} \text{ та } \dot{B} = Ae^{i\psi}.$$

Звідси (для ідеального діелектрика):

$$\dot{\vec{E}}_m = \vec{x}_0 A \left( e^{i\varphi} e^{-ikz} + e^{i\psi} e^{ikz} \right) = \vec{x}_0 2A e^{i\frac{\varphi+\psi}{2}} \cos\left( kz - \frac{\varphi-\psi}{2} \right),$$

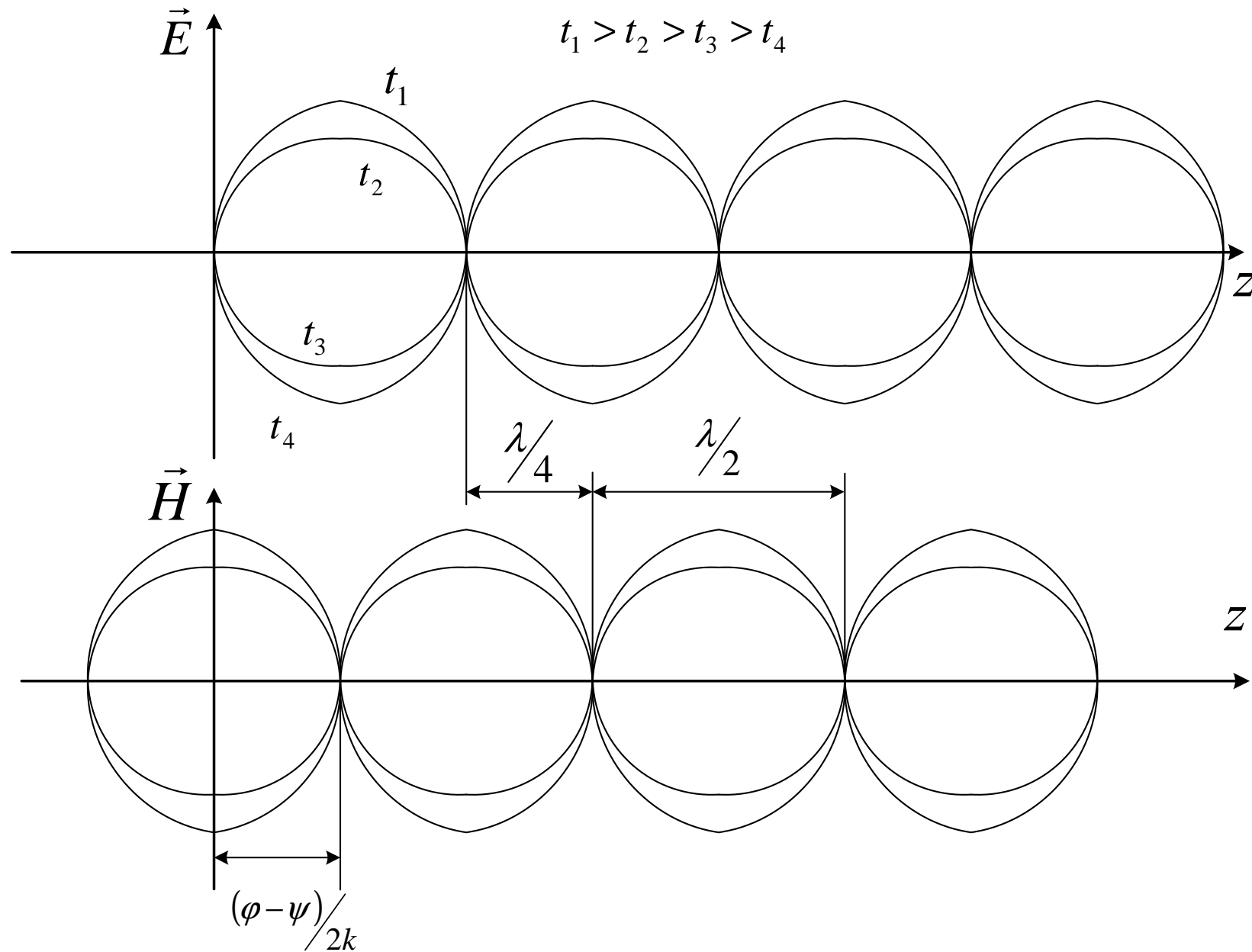
$$\dot{\vec{H}}_m = \vec{y}_0 \frac{A}{W} \left( e^{i\varphi} e^{-ikz} - e^{i\psi} e^{ikz} \right) = \vec{y}_0 \frac{i2A}{W} e^{i\frac{\varphi+\psi}{2}} \sin\left( kz - \frac{\varphi-\psi}{2} \right).$$

Миттєві значення цих векторів:

$$\dot{\vec{E}}_m = \vec{x}_0 2A \cos\left( kz - \frac{\varphi-\psi}{2} \right) \cos\left( \omega t + \frac{\varphi+\psi}{2} \right),$$

$$\dot{\vec{H}}_m = \vec{y}_0 \frac{2A}{W} \sin\left( kz - \frac{\varphi-\psi}{2} \right) \sin\left( \omega t + \frac{\varphi+\psi}{2} \right).$$

## Суперпозиція біжучих хвиль протилежних напрямів



## Суперпозиція біжучих хвиль протилежних напрямів

**Результатом такої суперпозиції є стояча хвиля.**

Вузли (чи пучності) стоячих хвиль векторів напруженостей електричного та магнітного поля зміщені на чверть хвилі у просторі. У часі ці ж вектори зміщені на 90 градусів за фазою.

**Така стояча хвиля у середньому не переносить енергії,** у чому легко переконатись, обчисливши середнє значення вектора Пойнтінга.