Електродинаміка, пристрої НВЧ та антенна техніка

Поляризація електромагнітних хвиль

Загальні положення

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

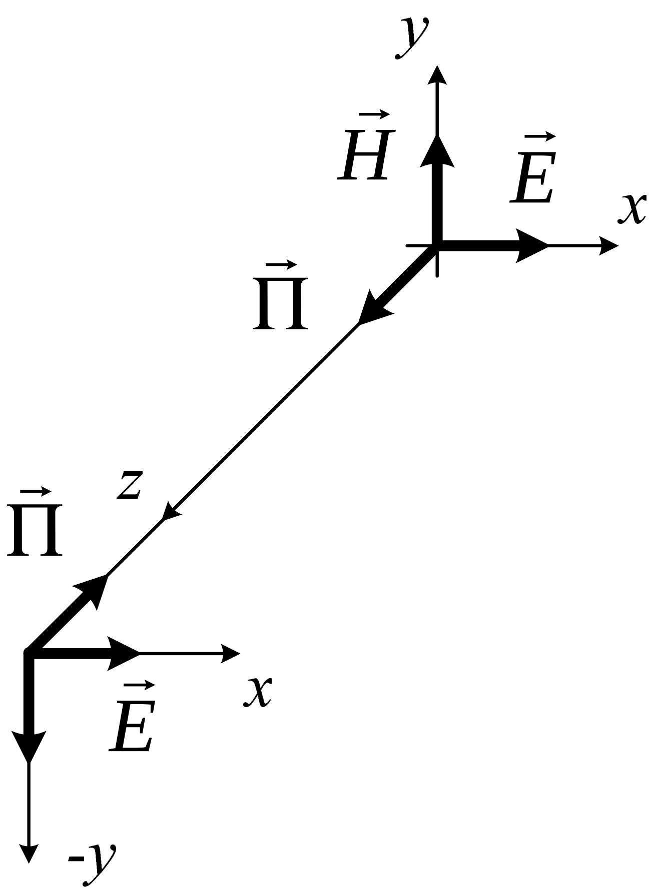
Площина поляризації – площина, яка проходить через напрям поширення хвилі та паралельна до вектора напруженості електричного поля.

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

Розв’язок 1

Горизонтальна

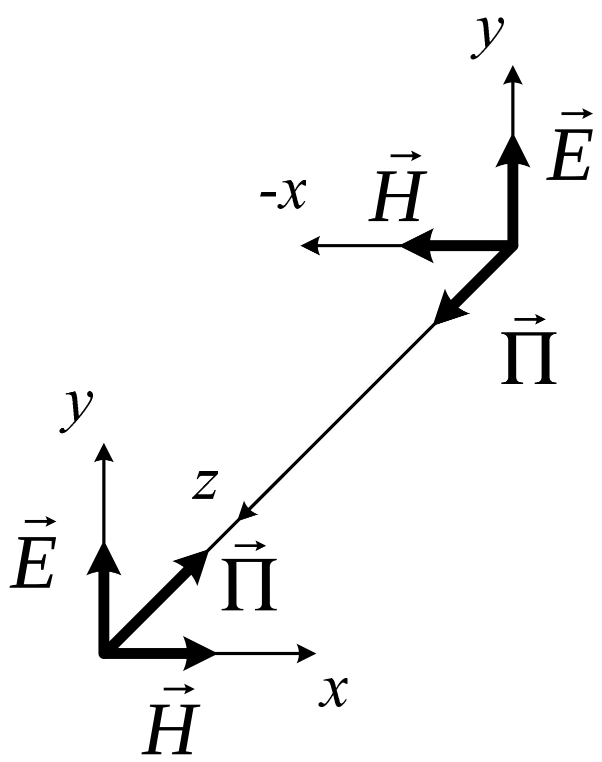
поляризація



Розв’язок 2

Вертикальна

поляризація



Всі ці **хвилі лінійно поляризовані.**

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 напряму поширення.

Плоска (лінійна) поляризація

Отже, накладемо електричні поля двох ортогонально поляризованих хвиль:

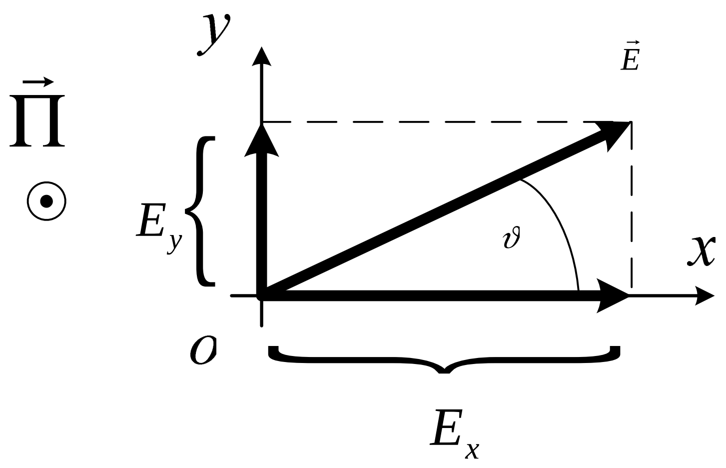
$$\dot{\vec{E}}_m = \dot{\vec{E}}_{m1} + \dot{\vec{E}}_{m2} = \left(\vec{x}_0 \dot{A} + \vec{y}_0 \dot{C}\right) e^{-ikz}.$$

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

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

$$\boxed{\vartheta = \mathrm{arctg}\frac{C}{A}}$$

з площиною поляризації першої хвилі (рисунок).



Колова поляризація

Результат буде інший, якщо фази цих хвиль різні.

Наприклад, $\dot{A} = Ae^{i\varphi}$ òà $\dot{C} = Ae^{i\left(\varphi - 90^0\right)}$:

$$\dot{\vec{E}}_m = \dot{\vec{E}}_{m1} + \dot{\vec{E}}_{m2} = \left(\vec{x}_0 \dot{A} + \vec{y}_0 \dot{C}\right)e^{-ikz} = \left(\vec{x}_0 Ae^{i\varphi} + \vec{y}_0 Ae^{i\left(\varphi - 90^0\right)}\right)e^{-ikz}$$

Звідси, вважаючи для повноти хвилеве число комплексним, маємо:

$$\vec{E} = \mathrm{Re}\left(\dot{\vec{E}}_m e^{i\omega t}\right) = \mathrm{Re}\left[\left(\vec{x}_0 Ae^{i\varphi} + \vec{y}_0 Ae^{i\left(\varphi - 90^0\right)}\right)e^{-i\dot{k}z}e^{i\omega t}\right] =$$

$$= Ae^{-k''z}\left[\vec{x}_0 \cos\left(\omega t - k'z + \varphi\right) + \vec{y}_0 \sin\left(\omega t - k'z + \varphi\right)\right].$$

Звідси кут положення площини поляризації:

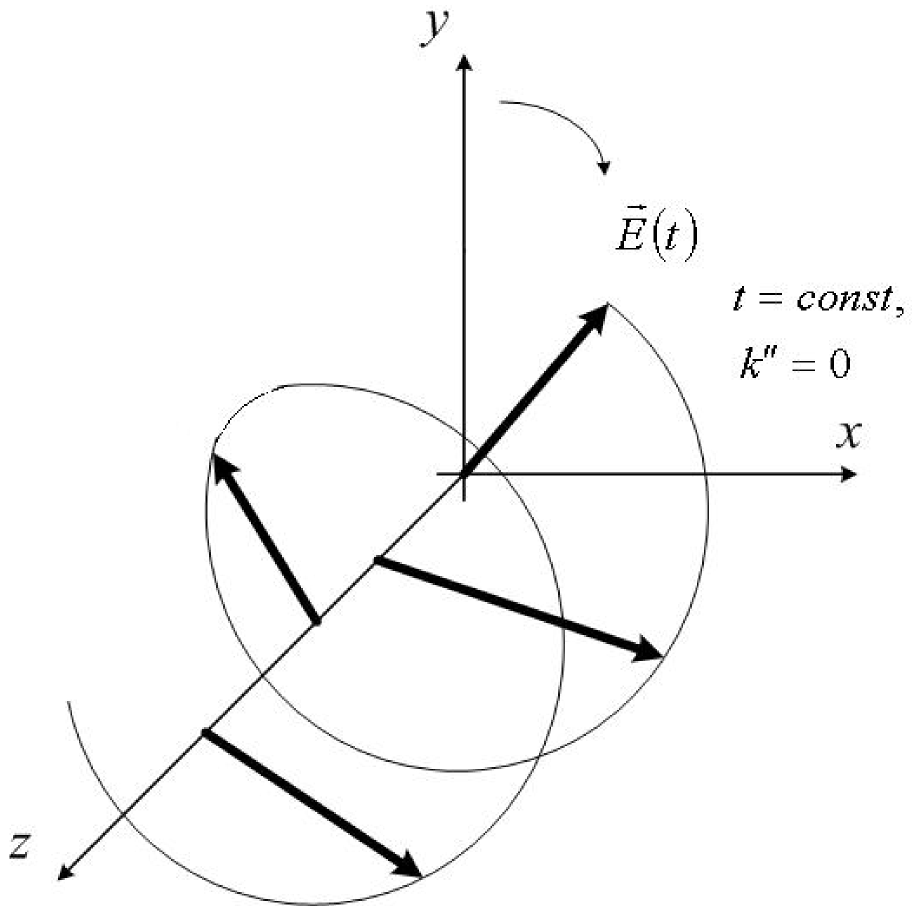
$$\boxed{\vartheta = \mathrm{arctg}\frac{E_y}{E_x} = \omega t - k'z + \varphi.}$$

Цей кут **змінюється у часі і просторі** – наступний слайд.

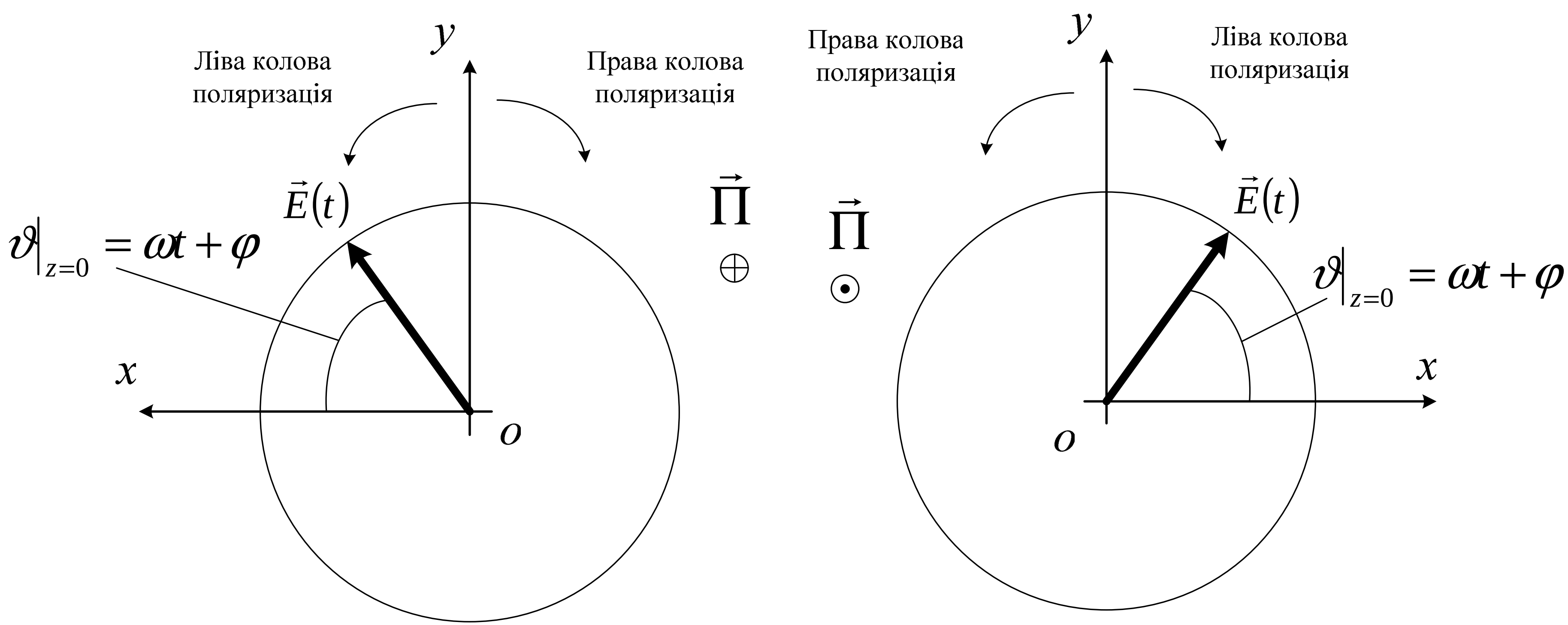
Колова поляризація

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

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



Колова поляризація

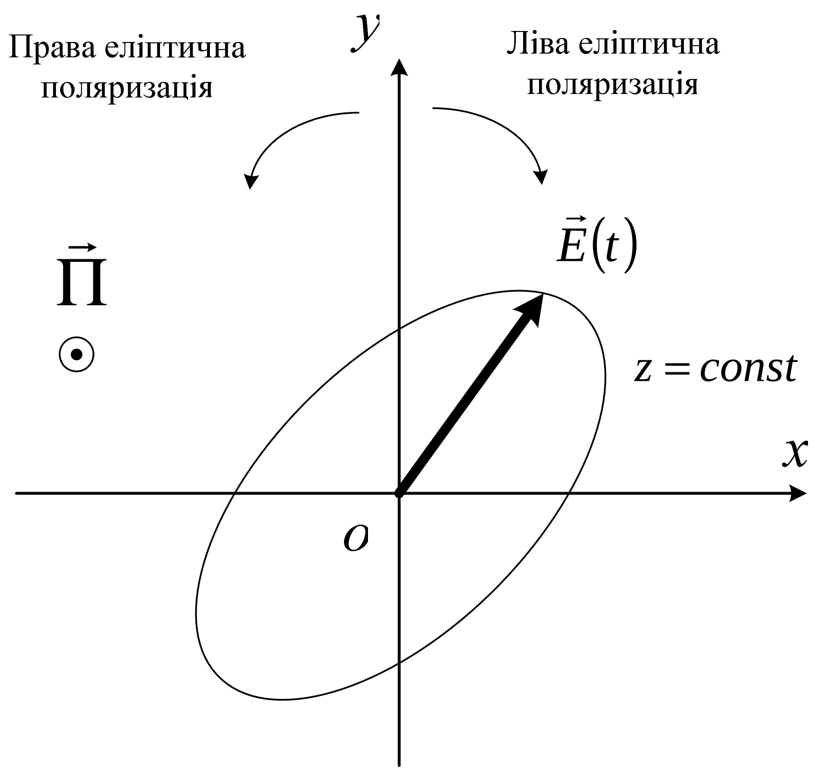


Права колова поляризація відповідає випадку $\dot{A} = Ae^{i\varphi}$ òà $\dot{C} = Ae^{i\left(\varphi + 90^0\right)}$, тобто обертання у протилежному напрямку.

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 $\dot{A}$ òà $\dot{C}$.

Суперпозиція біжучих хвиль протилежних напрямів

До цього часу розглядались властивості суперпозиції хвиль одного напряму. Розглянемо тепер суперпозицію двох хвиль протилежних напрямів – так званих падаючої та біжучої хвиль.

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

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

Звідси (для ідеального діелектрика):

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

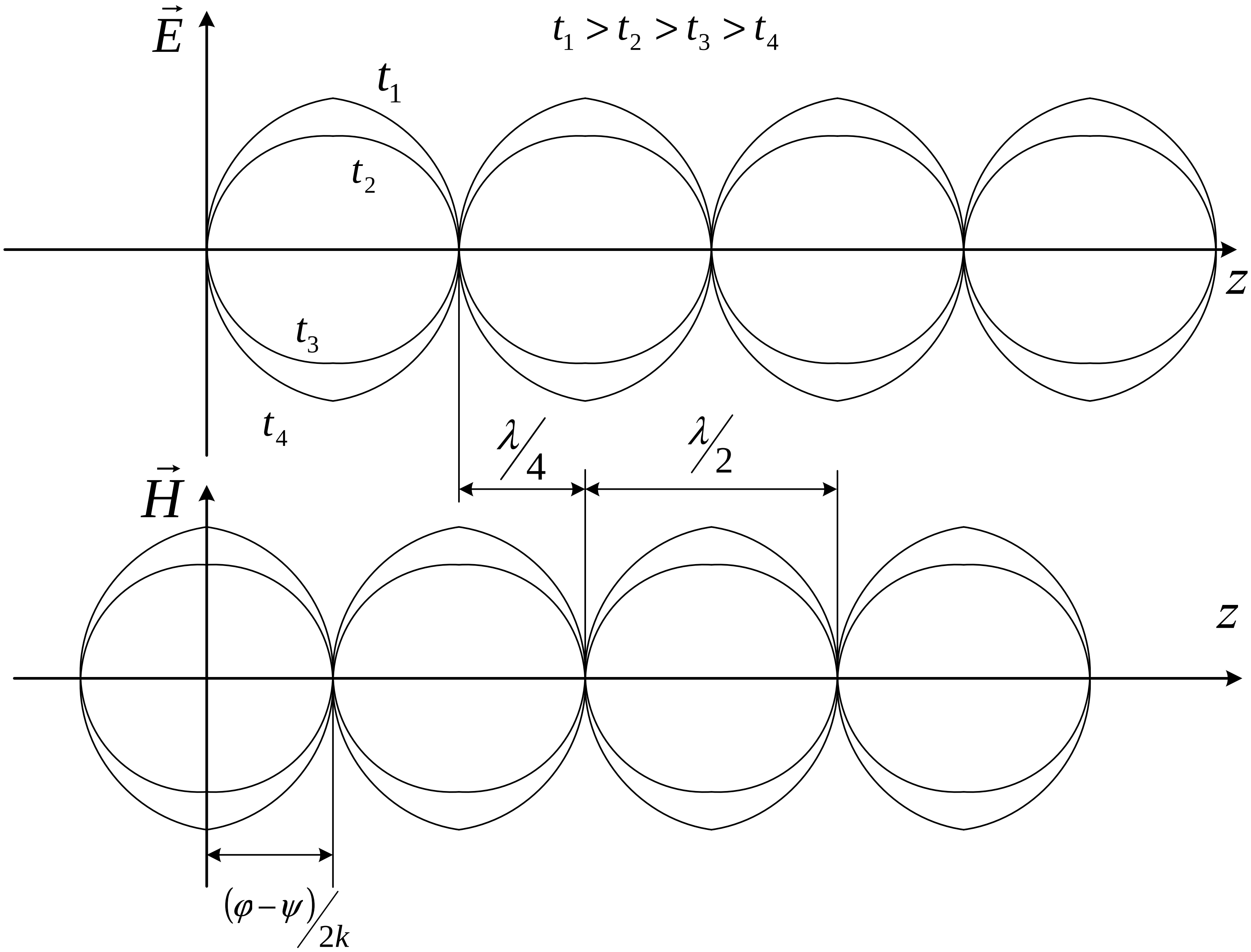
$$\dot{\vec{H}}_m = \vec{y}_0 \frac{A}{W}\left(e^{i\varphi}e^{-ikz} - e^{i\psi}e^{ikz}\right) = \vec{y}_0 \frac{i2A}{W}e^{i\frac{\varphi+\psi}{2}}\sin\left(kz - \frac{\varphi-\psi}{2}\right).$$

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.