

Лабораторна робота №6

Електромагнітні хвилі у діелектриках.

Мета роботи:

1. Практичне дослідження явищ, що мають місце при нормальному падінні електромагнітної хвилі на границю розподілу двох середовищ.
2. Практичне дослідження впливу товщини шару діелектрика на проходження крізь нього електромагнітних хвиль.

1 Короткі теоретичні відомості

Відомо, що діелектрик характеризують комплексною діелектричною проникністю $\hat{\epsilon} = \epsilon(1 - itg\delta)$. Тангенс кута діелектричних втрат для діелектриків, що використовують на практиці, зазвичай малий $tg\delta \ll 1$, а магнітними втратами можна знехтувати. Це дозволяє визначити складові хвильового числа у такий спосіб:

$$\begin{aligned} \dot{k} &= k' - ik'' = \frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon'\mu'(1 - itg\delta)} = \\ &= \frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon'\mu'} \left(1 - i \frac{tg\delta}{2} + \frac{tg^2\delta}{8} + i \frac{tg^3\delta}{16} + \dots \right). \end{aligned}$$

У більшості випадків можна знехтувати вищими степенями тангенса кута втрат, тому

$$k' \approx \frac{\omega}{c} \sqrt{\epsilon'\mu'}, \quad k'' \approx k' \frac{tg\delta}{2}. \quad (6.1)$$

Тобто фазовий коефіцієнт реального діелектрика з малими втратами ($tg\delta \ll 1$) дорівнює хвильовому числу та не залежить від втрат, а коефіцієнт затухання пропорційний $tg\delta$.

При цьому фазова швидкість у діелектрику

$$v_{\phi} = \frac{\omega}{k'} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_a \mu_a}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \epsilon' \mu_0 \mu'}} = \frac{c}{\sqrt{\epsilon' \mu'}} = \frac{c}{n}, \quad (6.2)$$

де $n = \sqrt{\epsilon' \mu'}$ – коефіцієнт заломлення даного діелектрика.

При нормальному падінні електромагнітної хвилі на границю розподілу двох середовищ (перпендикулярно до границі розподілу двох середовищ)

вона може частково проходити у друге середовище та частково відбиватися.

У цьому випадку коефіцієнт відбиття R та коефіцієнт проходження T будуть мати такий вигляд:

$$R = \frac{W_2 - W_1}{W_2 + W_1}, \quad T = \frac{2W_2}{W_2 + W_1}, \quad (6.3)$$

де $W_1 = W_0 \sqrt{\mu_1/\varepsilon_1}$, $W_2 = W_0 \sqrt{\mu_2/\varepsilon_2}$ – хвильові опори цих середовищ, $W_0 = \sqrt{\mu_0/\varepsilon_0} \approx 120\pi$ Ом – хвильовий опір вакууму.

З (4.3) випливає, що при $W_2 = W_1$: $R = 0$, $T = 1$, що відповідає повному переходу енергії з одного середовища в інше. У такому випадку середовища називають узгодженими.

При похилому падінні електромагнітної хвилі на границю розподілу двох середовищ можна отримати такі вирази для коефіцієнтів відбиття та проходження:

– перпендикулярна поляризація:

$$R_{\perp} = \frac{W_2 \cos \varphi - W_1 \cos \theta}{W_2 \cos \varphi + W_1 \cos \theta}, \quad T_{\perp} = \frac{2W_2 \cos \varphi}{W_2 \cos \varphi + W_1 \cos \theta}; \quad (6.4)$$

– паралельна поляризація:

$$R_{\parallel} = \frac{W_2 \cos \theta - W_1 \cos \varphi}{W_2 \cos \theta + W_1 \cos \varphi}, \quad T_{\parallel} = \frac{2W_2 \cos \varphi}{W_2 \cos \theta + W_1 \cos \varphi}, \quad (6.5)$$

де φ, θ – кути падіння та заломлення.

Вирази (6.4), (6.5) називають формулами Френзеля. З них випливає, що за певного кута падіння значення коефіцієнта відбиття дорівнює нулю. Ця умова визначає кут повного проходження (кут Брюстера):

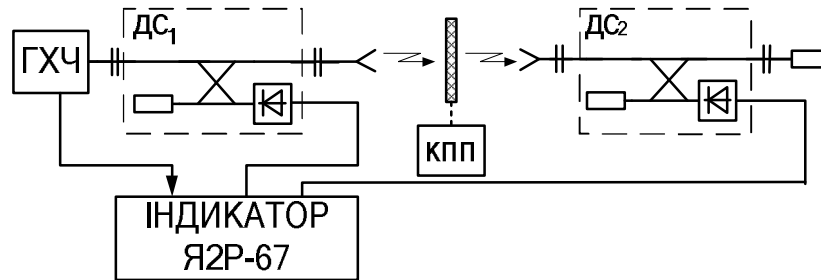
$$\sin^2 \varphi_{B\perp} = \frac{\varepsilon_2/\varepsilon_1 - \mu_2/\mu_1}{\mu_1/\mu_2 - \mu_2/\mu_1}, \quad \sin^2 \varphi_{B\parallel} = \frac{\mu_2/\mu_1 - \varepsilon_2/\varepsilon_1}{\varepsilon_1/\varepsilon_2 - \varepsilon_2/\varepsilon_1}, \quad (6.6)$$

З (6.6) випливає, що для немагнітних діелектриків ($\mu_1 = \mu_2 = \mu_0$) при перпендикулярній поляризації повне проходження не спостерігається за будь-яких кутів падіння, у той же час для паралельної поляризації можливе повне проходження при куті падіння $\varphi_{B\parallel} = \arctg \sqrt{\varepsilon_2/\varepsilon_1}$. Якщо під цим кутом на поверхню розподілу падає хвиля, що має складові з паралельною

та перпендикулярними складовими, то відбита хвиля містить лише другу складову, оскільки перша повністю проходить через границю розподілу середовищ.

2 Лабораторна установка

Структурну схему лабораторної установки зображено на рисунку 6.1.



ГХЧ – генератор хитної частоти; ДС₁ – детектор спрямований падаючої хвилі; ДС₂ – детектор спрямований відбитої хвилі; КПП – координатно-поворотна платформа

Рисунок 6.1 – Структурна схема лабораторної установки

3 Хід виконання роботи

3.1 Ввімкніть панорамний вимірювач КСХН, прогрійте його, а потім відкалібруйте у смузї робочих частот.

3.2 Під'єднайте антени до детекторів спрямованих (див. рисунок 6.1). Встановіть приймальну антену у дальній зоні передавальної антени.

Обертаючи приймальну антену в азимутальній та кутомісній площинах, добийтесь того, щоб максимуми діаграм направленості обох антен були спрямовані одна на одну.

3.3 Закріпіть на КПП діелектричну пластинку.

Обертаючи її у просторі та спостерігаючи на екрані індикатора панорамного вимірювача КСХН криву затухання, добийтесь її максимальної чіткості. Іншими словами, на цій кривій повинні якомога чіткіше спостерігатись максимуми та мінімуми.

Виміряйте значення частот, на яких спостерігаються ці максимуми та мінімуми, результати вимірювань до таблиці.

3.4 Повторіть п.3.3 для товстішої діелектричної пластинки.

4 Розрахункове завдання

4.1 Знаючи частоти мінімумів та максимумів затухання, розрахувати різницю частот

$$\Delta f_i = f_{i-1} - f_i,$$

де f_{i+1} – $i+1$ -а частота масиву частот мінімумів (максимумів); f_i – i -та частота того ж самого масиву.

Приклад

Масив частот мінімумів: 28,82; 29,32; 29,78 ГГц.

Таблиця 4.1 – Частоти мінімумів

Частоти мінімумів, ГГц	Різниця частот, ГГц
28,82	0,50
29,32	0,46
29,78	...

4.2 Розрахувати масив різниць частот Δf_i та середнє значення цієї різниці $\overline{\Delta f_i}$:

$$\overline{\Delta f_i} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta f_i,$$

де N – кількість різниць частот.

4.3 Розрахувати коефіцієнт заломлення використовуваних під час роботи діелектричних пластин.

5 Вимоги до звіту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити:

1. Коротке описання мети і методики проведення роботи.
2. Перелік використаних приладів.
3. Таблиці результатів вимірювань по пп. 3.3, 3.4.
4. Розрахункове завдання.
5. Висновки.

6 Контрольні питання

1. Правило класифікації речовин в електродинаміці.

2. Поясніть фізичний зміст величини «тангенс кута діелектричних втрат».
3. Який зв'язок між коефіцієнтом заломлення та відносними діелектричною ϵ і магнітною μ проникностями?
4. Який зв'язок між фазовою швидкістю електромагнітної хвилі в діелектрику та параметрами цього діелектрика ϵ і μ ?
5. Наскільки відрізняється довжина хвилі у вакуумі від довжини хвилі у діелектрику?
6. Чому дорівнює хвилевий опір вакууму?
7. Дайте визначення коефіцієнтів відбиття R та проходження T .
8. Що означає вислів «середовища є узгодженими»? Чому дорівнюють значення коефіцієнтів R і T у цьому випадку?
9. Яка характерна особливість кривої затухання, яку ви спостерігали під час виконання лабораторної роботи?
10. Поясніть фізичний зміст частот, які є екстремумами цієї кривої.