

Лабораторна робота № 2

Дослідження розповсюдження електромагнітної хвилі мікрохвильового діапазону по хвилеводу

Мета роботи: вивчення процесів передачі потужності мікрохвильового діапазону по хвилеводу.

1.1 Короткі теоретичні відомості

Відомо, що характер передачі енергії електромагнітних коливань змінюється зі зменшенням довжини хвилі. У мікрохвильовому діапазоні енергія передається, в основному, в вигляді не електричного струму, а електромагнітної хвилі, що поширюється поза провідниками. Провідник або обмежує простір, де поширюється енергія (хвилевід, мікросмужкова або коаксіальна лінія), або задає напрямок поширення енергії (двохдротова або однодротова лінія передачі).

При передачі потужності по мікросмужковим лініям (МСЛ), коаксіальним кабелям і хвилеводам необхідно узгоджувати хвилевод з навантаженням (рис. 1.1), щоб мінімізувати відбиту від навантаження потужність і виключити режим стоячих хвиль.



Рисунок 1.1 - Підключення навантаження до генератора електричної напруги мікрохвильового діапазону

Хвилевод, кабель або МСЛ, фізична довжина l якого близька до довжини хвилі $\lambda_{ХВ}$, називається довгою лінією. В мікрохвильовій техніці, де довжини хвиль сигналів складають десятки і одиниці сантиметрів практично будь-яка лінія передачі є довгою лінією. Довжина і частота хвилі пов'язані між собою:

$$\lambda_{ХВ} = \frac{c}{f}, \quad (1.1)$$

де c - швидкість світла у вакуумі, $m \cdot s^{-1}$; f - частота сигналу, Гц.

Для забезпечення максимальної ефективності передачі потужності генератора до навантаження необхідне виконання наступної умови:

$$Z_{Н} = Z_0, \quad (1.2)$$

де $Z_{Н}$ - комплексний опір навантаження;

Z_0 - комплексний хвильовий опір хвилеводу.

При невиконанні цієї умови відбувається відбиття потужності від навантаження, і відбита потужність повертається назад до генератора. Амплітуда хвилі в кожній точці хвилеводу в такому режимі дорівнює сумі амплітуд прямої або падаючої хвилі $U_{П}$ і відбитої хвилі $U_{Від}$. При цьому сума амплітуд цих хвиль залишається постійною для кожної точки хвилеводу – відбувається утворення стоячої хвилі (рис. 1.2).

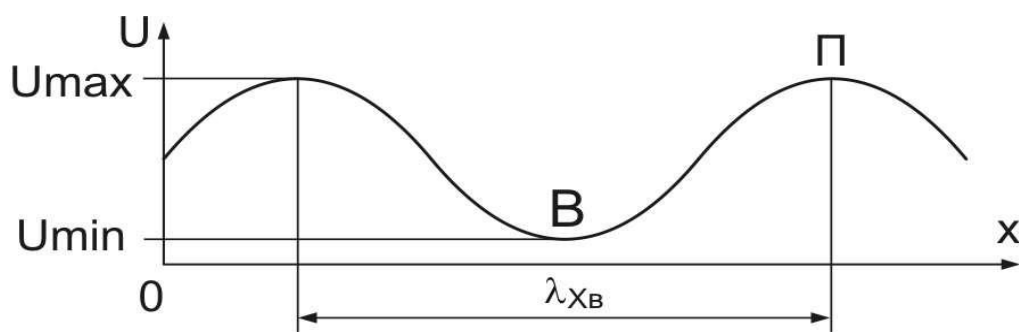


Рисунок 1.2 - Розподіл амплітуди хвилі в хвилеводі у режимі стоячої хвилі

Стояча хвиля характеризується постійним у часі розподілом амплітуди по довжині передаючої лінії, тобто вона не рухається уздовж лінії. Утворюються вузли (В), в яких напруга мінімальна U_{min} , і пучності (П), в яких напруга максимальна U_{max} .

Відомо, що за відсутності узгодження хвилеводу з навантаженням миттєві значення напруги $u(t,x)$ і струму $i(t,x)$ можна знайти, використовуючи вирази:

$$\begin{aligned} u(t, x) &= U_m \cos\left(\frac{\omega}{v_0} x\right) \cdot \cos(\omega t) \\ i(t, x) &= I_m \sin\left(\frac{\omega}{v_0} x\right) \cdot \sin(\omega t) \end{aligned} \quad (1.3)$$

де ω - кругова частота переміщення напруги генератора; U_m , I_m - амплітудні значення напруги і струму; v_0 - швидкість руху хвилі в хвилеводі; x - координата, відлічувана від навантаження до генератора.

Формули (1.3) одержані для випадку поганого узгодження з навантаженням. З виразів (1.3) виходить, що існують такі ділянки лінії, на яких не залежно від часу напруга дорівнює нулю або досягає максимуму. Наприклад, величина аргументу φ

$$\varphi = \frac{\omega}{v_0} x = \frac{2\pi f}{v_0} x \quad (1.4)$$

не залежить від часу, тому у точках, де $\varphi = 90^\circ \pm 2\pi$, $u(t,x) = 0$.

При поліпшенні узгодження хвилеводу з навантаженням різниця між максимальним і мінімальним значенням амплітуди хвилі зменшується - режим роботи хвилеводу наближається до оптимального - режиму хвилі, що біжить. Режим хвилі, що біжить, досяжний тільки при виконанні умови (1.2).

Ступінь узгодженості хвилеводу або смужкової лінії з навантаженням характеризується коефіцієнтом хвилі $K_{БХ}$, що біжить

$$K_{БХ} = \frac{U_{\min}}{U_{\max}}. \quad (1.5)$$

При $K_{БХ} = 1$ напруга уздовж лінії передачі не змінюється і стояча хвиля відсутня.

Довжина хвилі в середовищі розповсюдження $\lambda_{ХВ}$ залежить від електромагнітних властивостей цього середовища: Довжина хвилі λ пов'язана з довжиною хвилі у вакуумі λ_0 наступним співвідношенням:

$$\lambda = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon\mu}}, \quad (1.6)$$

де $\lambda_{ХВ}$ - довжина хвилі в середовищі розповсюдження; λ_0 – довжина тієї ж хвилі у вакуумі; ϵ - відносна діелектрична проникність матеріалу; μ - відносна магнітна проникність матеріалу.

Таким чином, в середовищах, що мають високі значення ϵ і μ , відбувається укорочення довжини хвилі. Довжина хвилі v пов'язана із швидкістю її розповсюдження співвідношенням

$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{f}, \quad (1.7)$$

де f - частота електромагнітної хвилі; T - її період.
Аналогічно формулі (1.4):

$$v = \frac{2\pi f x}{\phi}, \quad (1.8)$$

де x - зміна координати уздовж хвилеводу, м; ϕ - фазовий зсув хвилі, рад.

Крім того, використовуючи режим стоячих хвиль, можна здійснити вимірювання швидкості розповсюдження хвилі в хвилеводі іншим способом. Замірявши довжину хвилі в хвилеводі по відстані між вузлами або пучностями в режимі стоячих хвиль і знаючи частоту генератора можна обчислити швидкість:

$$v = \frac{\lambda_B}{T} = \lambda_B \cdot f. \quad (1.9)$$

На точність вимірювання швидкості розповсюдження хвилі в хвилеводі істотно впливає точність установки частоти генератора.

1.2 Опис лабораторної установки

Вимірювальна установка (рис. 1.3) складається з генератора сигналу мікрохвильового діапазону, аттенюатора або ослаблювача потужності, вимірювального хвилеводу, навантаження, вольтметра, що вимірює величину електромагнітного поля в хвилеводі.

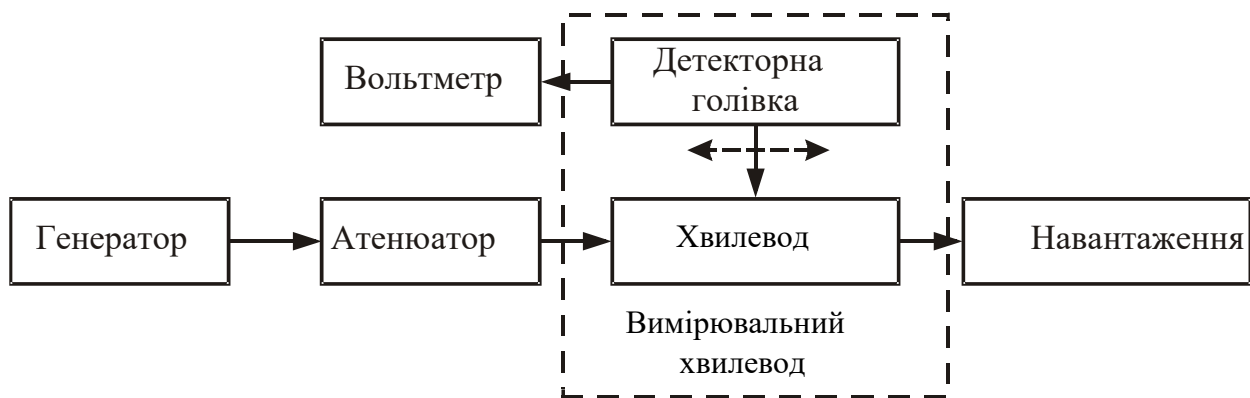


Рисунок 1.3 - Блок-схема вимірювальної установки

Вимірювальний хвилевод (рис. 1.4), має подовжній проріз, в який введена детекторна голівка, закріплена знизу детекторного блоку. На детекторному блоці є регулятори висоти розташування детекторної голівки і її узгодження з хвилею в хвилеводі. Детекторна голівка сприймає напруженість електромагнітного поля в хвилеводі і перетворює її в напругу. Є можливість переміщення детекторного блоку з детекторною голівкою уздовж вимірювального хвилеводу з фіксацією поточної координати x за допомогою покажчика положення.

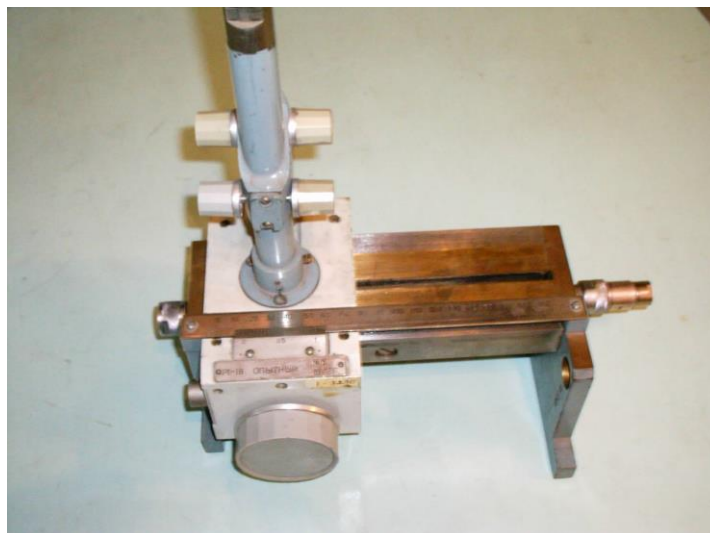


Рисунок 1.4 - Зовнішній вигляд вимірювального хвилеводу

1.3 Порядок виконання роботи

1. Розглянути теоретичні відомості приведені в роботі, ознайомитися з блок-схемою лабораторної вимірювальної установки.
2. Включити вольтметр, натискаючи кнопку "U-" і прогріти його протягом однієї-двох хвилин.

3. Включити генератор сигналу мікрохвильового діапазону.
4. Переконатися в працездатності вимірювальної установки, для чого, поступово переміщаючи детекторний блок уздовж хвилеводної лінії, спостерігати зміну показів вольтметра.
5. Встановити значення частоти генератора в діапазоні від 700 до 800 МГц.
6. Провести дослідження розподілу інтенсивності електромагнітного поля уздовж вимірювальної лінії, для чого:
 - встановити детекторний блок в початок вимірювальної лінії; занести в таблицю 1.1 дані про положення детекторного блоку і показ вольтметра;
 - переміщаючи детекторний блок управо з кроком в 15 мм повторювати вимірювання до кінця вимірювальної лінії.

Таблиця 1.1 - Результати вимірювань і розрахунків

№	f, МГц	x, мм	U, В	λ , см	v, м/с
1					
2					
...					

7. Повторити вимірювання п. 6 для трьох різних значень частоти генератора сигналу мікрохвильового діапазону.
8. Використовуючи одержані дані, побудувати графік розподілу інтенсивності електромагнітного поля уздовж вимірювальної лінії для різних значень частоти сигналу генератора.
9. Виділити положення максимумів і мінімумів в одержаних розподілах. Визначити відстані між найближчими максимальним і мінімальним значеннями інтенсивності електромагнітного поля одержаних розподілів.
10. Виміряти на графіках довжини хвиль в хвилеводі для різних значень частоти генератора та розрахувати відповідні їм швидкості розповсюдження хвилі в хвилеводі, використовуючи вираз (1.9).
11. Розрахувати для кожної з досліджених частот довжину хвилі у вакуумі за формулою (1.1).
12. Зробити висновки за результатами роботи.

1.4 Зміст звіту

1. Номер і тема, мета роботи.

2. Короткі теоретичні відомості по темі роботи, блок-схема і опис вимірювальної установки.
3. Таблиця з результатами вимірювань і розрахунків.
4. Графічне представлення розподілу інтенсивності електромагнітної хвилі у вимірювальній лінії.
5. Розрахунок довжини хвилі для трьох різних значень частоти генератора мікрохвильового діапазону.
6. Розрахунок швидкості розповсюдження хвилі в хвилеводі для трьох різних значень частоти генератора мікрохвильового діапазону.
7. Висновки.

1.5 Контрольні питання

1. Які умови потрібно виконати для узгодження хвилеводу і навантаження?
2. У якому режимі працює вимірювальний хвилевід, що використовується в роботі?
3. Що таке "режим хвилі, що біжить", і "режим стоячої хвилі"?
4. Що таке "вузол" і "пучність" в розподілі інтенсивності хвилі в хвилеводі?
5. Що таке "довга лінія"?
6. Що таке коефіцієнт укорочення довжини хвилі?
7. Які чинники впливають на довжину хвилі в хвилеводі?
8. Чи впливає величина вихідної потужності генератора на точність вимірювання швидкості розповсюдження хвилі в хвилеводі?
9. Як змінюється довжина хвилі із збільшенням таких характеристик середовища розповсюдження як відносна діелектрична проникність ϵ і відносна магнітна проникність μ ?