

ВИЗНАЧЕННЯ ДОВЖИНИ УЛЬТРАЗВУКОВИХ ХВИЛЬ

Темп для вивчення: Поздовжні хвилі, накладання поздовжніх хвиль, стоячі поздовжні хвилі.

Принцип дії. Ультразвукова (УЗ) хвиля відбивається від поверхні металічної пластини. Відбита хвиля накладається на падаючу, в результаті утворюється стояча хвиля. Інтенсивність такої стоячої хвилі вздовж напрямку розповсюдження вимірюється за допомогою пересувного УЗ приймача.

Обладнання: Джерело живлення 5 В, 12 Вт; УЗ передавач та приймач на підставці; оптична лава; металічний екран; аналоговий вольтметр.

Мета: 1. Визначити розподіл інтенсивності стоячої хвилі вздовж напрямку розповсюдження хвилі шляхом пересування УЗ приймача вздовж цього напрямку і реєстрації інтенсивності хвилі в різних його точках. Отриману залежність напруги приймача від відстані до екрана побудувати на графіку.

2. Визначити довжину стоячої та біжучої хвилі і оцінити похибку експерименту.

3. Визначити довжину випромінюваної УЗ хвилі методом дзеркала Ллойда і порівняти її значення з результатом, отриманим в п.2.

Теоретичні відомості.

1. Ультразвуковими називають пружні хвилі з частотами від $2 \cdot 10^4$ до 10^{13} Гц. Для генерування таких коливань найчастіше використовують п'єзоелектричні випромінювачі, що являють собою пластину п'єзоелектрика, яка здійснює механічні коливання у змінному електричному полі.

2. Швидкість поширення пружних коливань у пружному середовищі визначається за формулою: $u = \sqrt{\frac{1}{\beta \rho}}$, де $\beta = -\frac{1}{V} \left(\frac{dV}{dp} \right)_{\Delta Q=0}$ - адіабатична стисливість пружного середовища

/рідини або газу/ при адіабатичному процесі, ρ - густина рідини; для ідеального газу значення

швидкості може визначатись як $u = \sqrt{\gamma \frac{RT}{\mu}}$ (де $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$), що є близьким до середньої теплової

швидкості руху молекул. З іншого боку швидкість звукової хвилі в газі u пов'язана із довжиною хвилі λ та частотою ν як $u = \lambda \cdot \nu$.

3. Поздовжня ультразвукова хвиля відбивається від металевої поверхні повністю, при цьому її амплітуда та частота залишаються тими самими. Накладання падаючої поздовжньої

$p_1(x,t) = p_0 \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$ та відбитої $p_2(x,t) = p_0 \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{2d-x}{\lambda} \right)$ звукової хвилі призводить до появи стоячої хвилі, яка характеризується періодичністю у просторі і часі, маючи незмінний у часі просторовий розподіл амплітуд коливань:

$$p(x,t) = p_1(x,t) + p_2(x,t) = 2p_0 \cdot \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{d}{\lambda} \right) \cdot \cos 2\pi \left(\frac{d}{\lambda} - \frac{x}{\lambda} \right).$$

4. З останнього рівняння можна визначити, що амплітуда змінного звукового тиску буде максимальною при $\cos 2\pi \left(\frac{d}{\lambda} - \frac{x}{\lambda} \right) = 1$, тобто в точках $x = d - \frac{n\lambda}{2}$ ($n=0,1,2,\dots$), причому один з

максимумів буде на екрані ($x=d$, $n=0$), а мінімальною - при $\cos 2\pi \left(\frac{d}{\lambda} - \frac{x}{\lambda} \right) = 0$, тобто при

$x = d - \frac{(2n+1)\lambda}{4}$. Відстані між сусідніми вузлами (або пучностями) дорівнюватимуть $\Delta x = \frac{\lambda}{2}$,

отже довжина стоячої хвилі є вдвічі меншою за довжину біжучої, що генерується випромінювачем.

5. Дзеркало Ллойда (рис.3) являє собою плоский відбиваючий екран, площина якого розташована паралельно лінії розповсюдження хвилі (близько від неї, на відстані одного порядку із довжиною хвилі), внаслідок чого частина хвилі, падаючи під малим кутом до площини екрану, відбивається від нього і інтерферує з прямим променем, створюючи таким чином стаціонарну інтерференційну картину у вигляді просторового розподілу інтенсивності УЗ хвилі. Різниця ходу між двома променями залежить від відстані до екрану, отже переміщення площини екрану перпендикулярно лінії розповсюдження хвилі призводить до зміни просторового розподілу інтенсивності, який в даній роботі ресетрується приймачем.

Якщо на прямий промінь від передавача до приймача (відстань l) опустити перпендикуляр з точки відбиття від екрану другого променя, що досягає приймача відбившись (загальну довжину його позначимо L), то утвориться прямокутний трикутник, сторони якого L , l , та d співвідносяться за теоремою Піфагора: $\frac{L^2}{4} = d^2 + \frac{l^2}{4}$ (рис.4); якщо різниця ходу між променями

буде кратною довжині хвилі $L - l = n\lambda$, $n=0,1,2,3\dots$ то на приймачі спостерігатиметься максимум інтенсивності. Визначивши відстань від екрану до осі для двох послідовних

максимумів, можна визначити число n та довжину хвилі λ : $\lambda = 2 \cdot \left(\sqrt{d_{n+1}^2 + \frac{l^2}{4}} - \sqrt{d_n^2 + \frac{l^2}{4}} \right)$. Для

підвищення точності визначення λ відстань екрану d можна поміряти ще для кількох максимумів (або мінімумів).

Установка та хід роботи.

Сотачкин-2

1. Складіть схему експериментальної установки так, як зображено на рис.1.
2. Елементи установки (екран, УЗ приймач та передавач) розташуйте на оптичній лаві початково приблизно на відстанях, зазначених на рис.2.
3. Під'єднайте кабелі передавача та приймача до блока живлення за допомогою відповідних роз'ємів: передавач підключається до гнізда TR1, а приймач до входу підсилювача (позначеного знаком ∇).

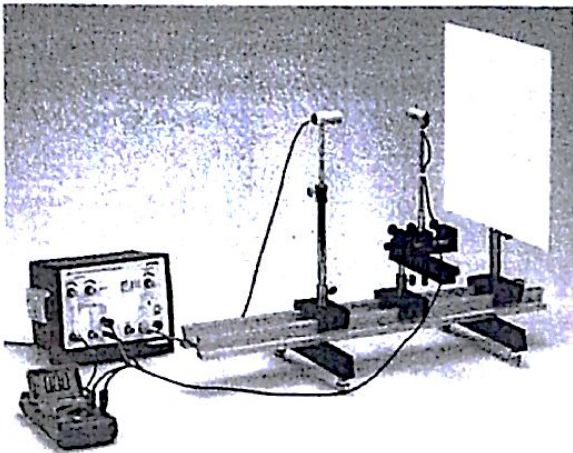


Рис.1. Вигляд експериментальної установки для дослідження стоячих хвиль.

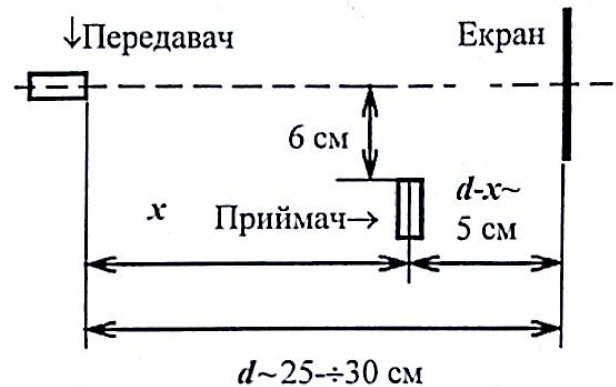


Рис.2. Схема розташування елементів установки.

4. Перед включенням блока живлення встановіть всі ручки блока живлення в крайнє ліве положення (повернувши їх до упору проти годинникової стрілки). Переконайтесь у роботоздатності схеми: а) регулюючи рівень потужності передавача ручкою вихідної потужності "Transmitter Ampl." і чутливість приймача двома ручками "Receiver" – з дискретним ("Pre Ampl.") та плавним регулюванням чутливості (ручка позначена знаком \curvearrowright), спостерігайте відповідно пропорційну зміну напруги на вольтметрі; б) пересуваючи приймач (за допомогою обертового гвинта зі шкалою) в напрямку лінії розповсюдження хвилі, спостерігайте періодичну зміну напруги на вольтметрі.

Зауваження. Уникайте роботи в режимі перевантаження приймального тракту (в такому випадку на блоці живлення загоряється червона лампочка "OVL"). При виникненні перевантаження необхідно зменшити інтенсивність випромінювання передавача або зменшити чутливість приймача.

5. При необхідності спробуйте змінити відстань між передавачем і екраном і повторіть виконання п.4б, намагаючись визначити таку відстань між передавачем і екраном, при якій амплітуда зміни напруги на вольтметрі при русі приймача буде найбільшою.

Зауваження. На роботу УЗ системи передавач-приймач завжди впливають перешкоди, обумовлені оточуючим шумом, вібраціями, наведенням напруг оточуючими електромагнітними полями тощо. Позбутись таких перешкод повністю практично неможливо, але для їх зменшення необхідно зменшувати до мінімально можливого рівня акустичні шуми у приміщенні, уникати розташування в безпосередній близькості від установки сторонніх предметів, а також самого експериментатора.

Завдання I – Визначення довжини стоячих УЗ хвиль

6. Переконавшись у наявності періодичної напруги (п.4б) зніміть залежність напруги U на вольтметрі від положення приймача (координата x). Кількість помірних точок має бути вибрана достатньою для побудови принаймні трьох періодів кривої, а крок між точками був достатнім для однозначного відображення ходу графіка.
7. Побудуйте графік залежності $U(x)$. Проаналізуйте хід залежності та визначить довжину стоячої УЗ хвилі по відстаням між точками, що знаходяться в одній фазі (максимумами та мінімумами) та визначить довжину біжучої хвилі, що випромінюється передавачем.
8. Оцініть випадкову похибку вимірювання довжини стоячої хвилі. Визначить фактори, що дають основний внесок у величину похибки, запропонуйте можливі заходи для покращення точності вимірів.

Завдання II – Визначення довжини УЗ хвилі при похилому відбитті від екрану

9. Розташуйте екран між передавачем і приймачем площиною паралельно лінії розповсюдження хвилі так, як показано на рис.3.

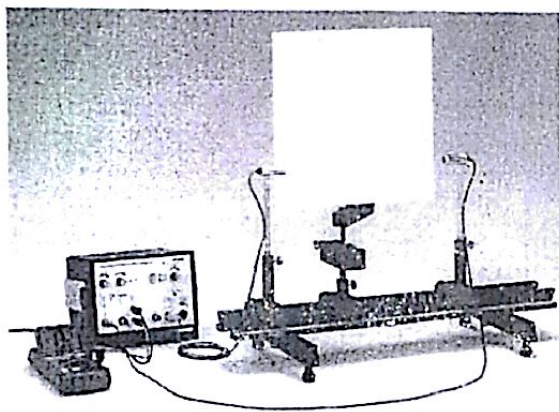


Рис.3. Установка для вивчення принципу дзеркала Ллойда.

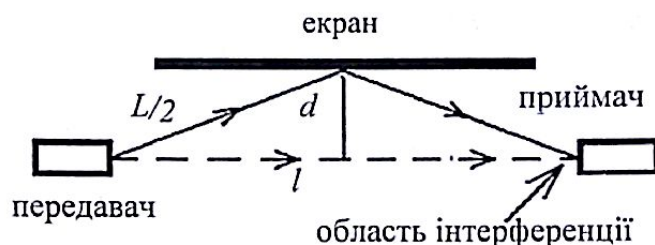


Рис.4. Схема відбиття променя від металевого екрана (дзеркала Ллойда).

10. Дослідіть, як змінюється інтенсивність УЗ хвилі на приймачі при зміні положення екрана. Для перевірки наявності інтерференційного ефекту можна рухати екран (навіть тримаючи його в руках!) поступально площиною перпендикулярно до лінії, що з'єднує передавач і приймач таким чином, щоб площина екрану залишалась паралельною з'єднувальній лінії. При такому русі в діапазоні відстаней від екрану до з'єднувальної лінії від 2-3 см до 10 см напруга на приймачі повинна періодично змінюватись. Встановивши екран на відстані, де ефект проявляється достатньо наочно та закріпивши в рухомому столику, поміряйте залежність напруги приймача від положення екрану через кожні 1 мм та побудуйте графік означеної залежності.

Примітка. Відстань d від поверхні екрану до лінії, що з'єднує передавач та приймач має знаходитись в діапазоні приблизно від 2÷3 см до 8÷9 см; початково її можна поміряти лінійкою, посунувши приймач (або передавач) вздовж направляючої лави так, щоб він розташувався перед площиною екрану; надалі відлік здійснюється за допомогою шкал ручки або юстувального столика.

11. Визначити з отриманої залежності довжину УЗ хвилі, розрахувавши її з геометричної побудови ходу променів та порівняти результат із отриманою в п.7 довжиною випромінюваної хвилі.
12. Зробіть висновки про результати вимірювань, їх точність, відповідність до теоретичних розрахунків; запропонуйте можливі шляхи підвищення точності вимірювань.

ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОГО ОПОРУ ПРОВІДНИКА

Мета роботи: 1. Набути прищеплених навичок вимірювання електричного опору та оцінювання похибок експерименту та вимірювальних пристроїв, що застосовуються в роботі.

2. Визначити питомий опір матеріалу провідника при різних довжинах вимірюваного дроту та по таблиці питомих опорів визначити матеріал дроту.

3. Оцінити похибки вимірювань, порівняти їх із сумарною інструментальною похибкою застосованих приладів.

Прилади і матеріали: Комплексний прилад, що включає в себе: 1) провідник з повзунковим контактом, що може рухатись по провіднику (дротині), змінюючи таким чином частину провідника, що підключена до схеми вимірювання опору; 2) вольтметра; 3) амперметра; 4) лінійки для визначення довжини провідника (дротини); 5) схема живлення та комутації, що дозволяє, зокрема, підключати (відключати) амперметр в ділянку кола, падіння напруги на якій вимірюється вольтметром.

Вказівки щодо безпеки під час виконання роботи: Перед вмиканням живлення приладу необхідно переконатись у наявності надійного заземлення, що підключається до клем на тильній панелі приладу. При включеному приладі не торкатись провідника та контактів повзунка, розташованих на вертикальній штанзі.

Загальні відомості

Електричний опір провідників в даній роботі визначається за допомогою вольтметра і амперметра, що вимірюють відповідно падіння напруги U на провіднику (дротині) та струм I , що через нього протікає. Електричний опір визначається із закону Ома: $R = U/I$, де U - напруга, що показує вольтметр, I - струм, що показує амперметр. Відповідно питомий опір, тобто опір одиниці довжини провідника одиничного перерізу визначається як $\rho = \frac{RS}{l}$, або

$$\rho = \frac{U}{I} \cdot \frac{\pi D^2}{4l}, \text{ де } S - \text{площа перерізу провідника, } l - \text{його довжина, } D - \text{діаметр перерізу.}$$

Очевидно, що в системі СІ одиницею виміру питомого опору буде Ом·м, але дуже поширеним, особливо в технічній літературі є вживання несистемної одиниці Ом·мм²/м.

Електрична схема приладу нанесена на його передній панелі і складається із включених послідовно низьковольтного джерела живлення, амперметра та вимірюваного елемента - провідника у вигляді металевій дротини, до частини якої підключається паралельно вольтметр.

Ряд факторів, зокрема, власний опір амперметра, вольтметра, провідників схеми, контактів, та ін., призводять до виникнення додаткової похибки при вимірах опору внаслідок збільшення загального опору, на якому вимірюється падіння напруги. Для максимально точного визначення питомого опору ці фактори (тобто додаткові опори) необхідно визначити і виключити із розрахунків.

Особливістю даної схеми є можливість включати або виключати амперметр з кола вимірюваної вольтметром напруги за допомогою перемикача на передній панелі приладу (де також зображені схеми відповідного підключення). Власний опір амперметра r можна визначити як $r = \frac{U_2 - U_1}{I}$, де U_1 та U_2 - падіння напруг, що показує вольтметр у випадках відповідно відключеного та підключеного до вимірювальної ділянки амперметра. Таким чином, вимірюючи падіння напруги тільки на частині провідника, або на цій же частині разом із падінням напруги на амперметрі, можна визначити власний опір амперметра і при необхідності врахувати його при подальших вимірюваннях.

Обидва електричні вимірювальні пристрої - амперметр і вольтметр мають адитивну шкалу похибок; клас точності цих приладів позначений в нижній частині шкали цифрами величини відносної похибки у відсотках.

1. Зафіксуйте ~~пересушений~~ контакт на вибраній Вами поділці шкали довжини провідника (дротина).

УВАГА! Вибір нульової та закріплення контакту робіть тільки на відключеному від мережі приладі!

2. Включіть прилад. Зніміть вольт-амперну характеристику провідника $I=f(U)$ для вибраної довжини провідника, змінюючи струм і напругу в усьому можливому діапазоні їх значень (принаймні 5 пар значень $I-U$, амперметр при цьому повинен бути вимкнений із частини кола, в якій вольтметром вимірюється напруга).

3. Користуючись методом найменших квадратів (МНК) визначить питомий опір провідника ρ та його абсолютну похибку $\Delta\rho$ (т.ч. без врахування додаткових опорів з'єднувальних провідників).

4. Встановіть інші довжини l_i дротини в усьому діапазоні зміни довжини (індекс $3 < i < 6$) та визначте опір $R_i = U_i/I_i$ для кожної довжини, визначаючи струм і напругу або одноразово, або у випадку сумнівів, повторюючи кілька разів при різних струмах для знаходження середнього. Побудуйте графічно залежність $R=f(l)$ та за МНК визначить $R_0 = R_{l=0}$ – опір кола при нульовій довжині дротини.

5. Визначить питомий опір провідника ρ_i для кожної з виміряних довжин дротини l_i , віднявши в формулі для питомого опору визначений додатковий опір R_0 :

$$\rho_i = \frac{(R_i - R_0)S}{l_i} = \left(\frac{U_i}{I_i} - R_0 \right) \cdot \frac{\pi D^2}{4l_i}$$

6. Порівняйте отримані при різних довжинах значення ρ , та визначить (наприклад, за методом прямих вимірювань) абсолютну $\Delta\rho$ та відносну $\Delta\rho/\rho$ похибки будь-якого окремо взятого вимірювання питомого опору, а також $\bar{\rho}$ похибку середнього арифметичного

$\bar{\rho} = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \dots + \rho_n}{n}$ та порівняйте її з похибкою, визначеною за МНК з п.3.

7. Визначте внутрішній опір амперметра (використовуючи перемикач на передній панелі) за методикою, описаною вище в Загальних відомостях та оцініть абсолютну похибку. Визначить, при яких значеннях струму та напруги точність вимірювань опору амперметра найбільша.

8. Проаналізуйте результати та зробіть висновки. Дайте відповіді на запитання:

1) Чи підвищується точність визначення питомого опору при багаторазових вимірюваннях?

2) При якій довжині провідника точність визначення питомого опору найкраща?

$$\varnothing = (0,3 \pm 0,05) \text{ мм}$$