

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Український державний морський технічний університет
імені адмірала Макарова

КОЛИВАННЯ ТА ХВИЛІ

Рекомендовано Методичною радою УДМТУ
як методичні вказівки

Миколаїв 2003

Коливання та хвилі: Методичні вказівки / За ред. О.О. Мочалова, О.О. Таранчука. – Миколаїв: УДМТУ, 2003. – 52 с.

Кафедра фізики

Методичні вказівки складаються з опису лабораторних робіт з теми "Коливання та хвилі", які поставлені в лабораторіях кафедри фізики УДМТУ на сучасному обладнанні та відповідно до програми курсу загальної фізики для інженерно-технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. Кожна лабораторна робота містить короткі теоретичні відомості, опис обладнання або окремих приладів, методику виконання роботи. Контрольні питання, які можуть бути використані при машинному способі контролю рівня підготовки студентів до їх виконання, наведено у додатку.

Розробили викладачі кафедри фізики: В.П. Сипко (К-1), Ж.Ю. Буруніна (К-2), Н.І. Коваль (К-5), О.О. Таранчук (К-3), В.М. Шенкевич (К-4), А.Д. Кулік (К-7), О.О. Мочалов (К-8), Л.І. Стратієнко (К-6), М.В. Ушкац (К-9), Л.І. Титюченко (К-10).

Призначені для студентів усіх факультетів університету.

Рецензент канд. фіз.-мат. наук, доцент А.М. Кузнецов

© Український державний
морський технічний
університет, 2003

© Видавництво УДМТУ, 2003

Лабораторна робота К-1

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗВУКУ В ПОВІТРІ МЕТОДОМ ФІГУР ЛІССАЖУ

Мета роботи: визначення швидкості звуку в повітрі.

При додаванні двох взаємно перпендикулярних коливань однакової частоти в залежності від різниці фаз змінюється вигляд результуючого коливального руху. Якщо амплітуди постійні в часі та однакові за величиною, то при зміні різниці фаз складових коливань виникає досить стала послідовність фігур (фігури Ліссажу). При цьому кожна з них повторюється при зміні різниці фаз коливань, що додаються, на $2\pi n$ ($n = 1, 2, 3$). На рис. 1.1 схематично зображені деякі з указаних фігур. Зазначимо, що пряма, коло і еліпс – окремі види фігур Ліссажу. Закономірність повторювання фігур використовується в даній роботі для визначення швидкості звуку.

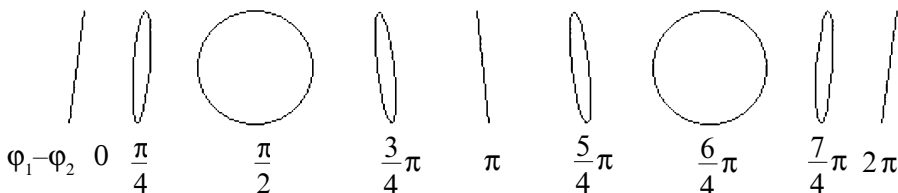


Рис. 1.1

Створені звуковим генератором (ЗГ) електричні коливання заданої частоти подаються одночасно на одну із пар керуючих пластин осцилографа та репродуктор (рис. 1.2).

У репродукторі електричні коливання перетворюються на механічні коливання дифузора (Д), який є джерелом звукових хвиль.

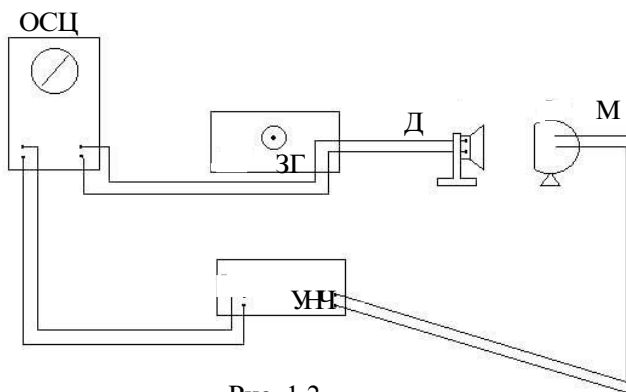


Рис. 1.2

Звукові хвилі, пройшовши деяку відстань у повітрі від репродуктора до мікрофона (М), впливають на мембрану мікрофона і перетворюються на електричні коливання тієї ж звукової частоти, що й коливання, створені звуковим генератором. Електричні

коливання від мікрофона через підсилювач низької частоти (ПНЧ) подаються на другу пару керуючих пластин осцилографа.

У результаті додавання електричних коливань, які подаються на дві пари горизонтально і вертикально відхиляючих пластин, електронний пучок, що пройшов через них, зазнає закономірного відхилення, виписуючи при цьому фігури, зображені на рис. 1.1.

Якщо рівняння електричних коливань, які подаються, наприклад, на горизонтально відхиляючі пластини осцилографа безпосередньо від звукового генератора, записати у вигляді

$$y_1 = a_1 \sin \omega t_1,$$

то на вертикально відхиляючі пластини електричні коливання придуть від мікрофона із запізненням на час

$$t = \frac{x_0}{V_{\text{зв}}},$$

де $V_{\text{зв}}$ – швидкість звуку в повітрі; x_0 – відстань між мікрофоном і репродуктором.

Рівняння вертикальних коливань у такому випадку матиме вигляд

$$y_2 = a_2 \sin \left(\omega t - \omega \frac{x_n}{V_{\text{зв}}} \right). \quad (1)$$

Якщо відстань між мікрофоном і репродуктором змінити до

x_0 , рівняння (1), яке описує електричні коливання, що приходять на вертикально відхиляючі пластини, буде записане у вигляді

$$y_2 = a_2 \sin \left(\omega t - \omega \frac{x_n}{V_{\text{зв}}} \right).$$

Положення і вигляд даної фігури відновлюється при зміні різниці фаз на $2\pi n$, тобто

$$\frac{\omega x_n}{V_{\text{зв}}} - \frac{\omega x_0}{V_{\text{зв}}} = 2\pi n,$$

звідки

$$V_{\text{зв}} = \frac{\omega}{2\pi n} (x_n - x_0) = \frac{x_n - x_0}{n} \nu. \quad (2)$$

де ν – частота, що задається генератором, а під n треба розуміти кратність повторювання фігури, зафіксованої в якийсь початковий момент часу.

Якщо фігура відновлюється при віддаленні мікрофона від репродуктора в результаті зміни фази на $2\pi n$, то кратність повторення $n = 1$. При повному відновленні фігури фаза зміниться на 4π і $n = 2$. Отже, вимірюючи відстань між двома положеннями мікрофона – x_0 і x_n , що відповідають початковому положенню фігури на екрані осцилографа, швидкість поширення звуку в повітрі можна визначити за формулою (2).

Віддаляючи мікрофон від репродуктора і вимірюючи відстані

$$x_1(n = 1); x_2(n = 2),$$

при яких положення фігур повторюється, а також знаючи початкову відстань x_0 , визначають швидкість звуку за формулою (2). За одержаними результатами знаходять її середнє значення.

Методика виконання роботи

1. Скласти установку за схемою (див. рис. 1.2). Під'єднати мікрофон через підсилювач низької частоти на вертикальну пару пластин осцилографа, а звуковий генератор – на горизонтальну пару пластин.

2. З дозволу викладача увімкнути всі прилади в електричну

мережу. Одержати зображення електричного променя на екрані осцилографа.

3. Переміщуючи мікрофон, одержати на екрані осцилографа пряму лінію, виміряти початкову відстань x_0 від мікрофона до репродуктора.

4. Віддаляючи мікрофон на таку відстань, щоб на екрані з'явилась пряма лінія того ж нахилу, зафіксувати нове положення x_1 мікрофона.

5. Виміряти відстань x_2 від мікрофона до репродуктора, при якій пряма лінія в тому ж положенні повторилась би ще раз.

6. Віддаляючи мікрофон від репродуктора, зафіксувати всі його положення, при яких вибрана фігура Ліссажу буде повторюватися.

7. Обчислити $V_{зв}$, використовуючи значення

$$\begin{aligned} x_1 - x_0 (n = 1); & \quad x_2 - x_1 (n = 1); \\ x_2 - x_0 (n = 2); & \quad x_3 - x_0 (n = 3) \text{ і т.д.} \end{aligned}$$

8. Повторити дослід для трьох різних частот звукового генератора і знайти середнє значення швидкості звуку в повітрі.

9. Похибку розрахувати методом середнього значення.

Лабораторна робота К-2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРІОДИЧНИХ ТА ІМПУЛЬСНИХ ПРОЦЕСІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ОСЦИЛОГРАФА

Мета роботи: навчитися користуватися осцилографом і з його допомогою знаходити характеристики періодичних та імпульсних сигналів.

Електронно-променевий осцилограф (ЕО) головним вузлом кожного ЕО є електронно-променева трубка (ЕПТ), за допомогою якої досліджуваний сигнал перетворюється на видиме зображення на екрані ЕПТ. Електронно-променева труба – це скляний балон, із якого відкачане повітря до тиску $p = 10^{-6}$ мм рт.ст. та на якому встановлені електроди з виводами для підключення електричної напруги від зовнішніх джерел.

На рис. 2.1 показано: 1 – спіраль, яка підігріває катод; 2 – катод (він є джерелом електронів); 3 – керуючий електрод (він регулює інтенсивність електронного пучка і відповідно яскравість світіння плями на екрані за допомогою від'ємної відносно катода напруги $U_{кер.ел}$); 4 – перший анод (він утворює неоднорідне елек-

тричне поле, яке фокусує електрони у вузький пучок за допомогою напруги U_{a1}); 5 – другий анод (він прискорює рух електронів у пучках за допомогою напруги U_{a2}); 6,7 – дві пари пластин для відхилення пучка електронів за допомогою напруги U_x (відхилення горизонтальне) та U_y (відхилення вертикальне).

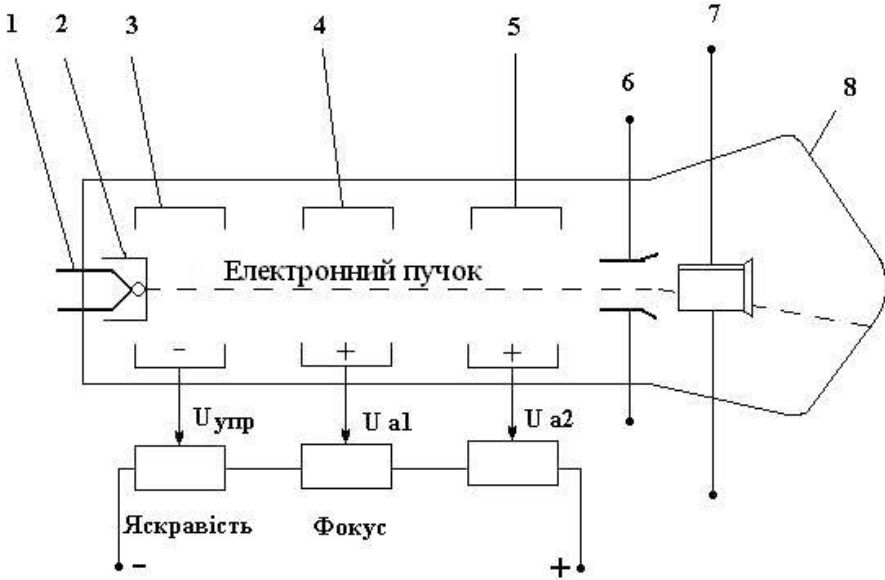


Рис. 2.1

Розглянемо відхиляючу систему пластин (рис. 2.2).

Допустимо, що на пластини подається різниця потенціалів (напруга) U_x . Тоді між пластинами виникає електричне поле з напруженістю

$$E_x = \frac{U_x}{d_x},$$

де d_x – відстань між пластинами. Відстань, яку пролітають електрони між пластинами, позначимо l_{1x} . Час прольоту цієї відстані

визначимо за формулою $\tau_x = \frac{l_{1x}}{V_x}$. На електрон з боку поля буде

діяти сила $F_x = eE_x$, де e – заряд електрона; сила F_x надає електрону прискорення:

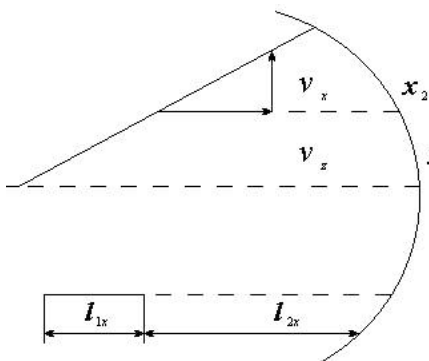


Рис. 2.2

$$a_x = \frac{F_x}{m} = \frac{e E_x}{m} = \frac{e U_x}{d_x m},$$

де m – маса електрона. При цьому електрон зміщується на відстань $x_1 = \frac{a_x \tau_x^2}{2}$ і набуває складову швидкості

$$V_x = a_x \tau_x.$$

Рухаючись за інерцією за межами пластин, електрони

відхиляються на відстань $x_2 = l_{2x} \frac{V_x}{V_z}$, де l_{2x} – відстань, яку пролетить електрон за межами пластин.

Загальне зміщення на екрані

$$\begin{aligned} x &= x_1 + x_2 = \frac{a_x \tau_x^2}{2} + \frac{l_{2x} V_x}{V_z} = a_x \tau_x \left(\frac{\tau_x}{2} + \frac{l_{2x}}{V_z} \right) = \\ &= \frac{e U_x l_{1x}}{d_x m V_z} \left(\frac{l_{1x}}{2 V_z} + \frac{l_{2x}}{V_z} \right) = b_x U_x, \end{aligned}$$

де $b_x = \frac{l_{1x}}{d_x m V_z^2} \left(\frac{l_{1x}}{2} + l_{2x} \right)$ – параметр осцилографа.

Таким чином, відхилення електронного пучка по осі x пропорційно прикладеній напрузі U_x . Аналогічно відхилення електронного пучка по осі y буде пропорційно напрузі U_y :

$$y = b_y U_y.$$

Якщо напруга V_y зміниться за законом $f(t)$, то для того, щоб одержати розгортку цього сигналу в часі, необхідно на вісь x по-

дати пилкоподібні сигнали, тобто $V_x = at = \frac{x}{b_x}$.

У цьому випадку траєкторія електронного пучка на екрані

буде визначатися залежністю $\frac{y}{b_y} = f\left(\frac{x}{ab_x}\right)$, де b_y і ab_x являють

собой масштаби по осях y і x .

Напруги U_x і U_y можна змінювати шляхом повороту рукояток " $\longleftrightarrow$ " і " $\updownarrow$ " потенціометрів.

У такому випадку зображення зміщується по осі x (або в часі t) і по вертикалі (вісь y).

Синхронізація

Для того, щоб одержати на екрані чітке зображення, необхідно правильно вибрати синхронізацію розгортки. Процес синхронізації полягає в примусовому впливі зовнішнього сигналу на генератор розгортки, внаслідок чого останній починає генерувати її з частотою, яка дорівнює або є кратною частоті напруги, що діє.

Осцилографи мають два види синхронізації: внутрішню та зовнішню. У першому випадку синхронізація здійснюється досліджуванним сигналом, у другому – напругою від зовнішнього джерела.

Принцип синхронізації зображено на рис. 2.3: досліджуваний сигнал із періодом $T_{\max}$ (рис. 2.3,*а*), імпульсний сигнал пилою напруги з часом очікування $t_{\text{оч}}$, часом прямого руху променя $t_{\text{пр}}$ і часом зворотного руху $t_{\text{зв}}$ (рис. 2.3,*б*). Зворотний рух променя не видно через відхилення його з екрану осцилографа блокуючими імпульсами. Для одержання якісного зображення досліджуваного процесу необхідно, щоб виконувалось співвідношення $t_{\text{пр}} \gg t_{\text{зв}}$.

Неперервність зображення досягається синхронізацією зображення розгортки досліджуванним сигналом або зовнішньою напругою, при цьому період розгортальної напруги повинен бути кратним періоду досліджуваної напруги $T_p = T_g n$, де $n = 1, 2, 3 \dots$

Неперервна розгортка використовується для дослідження періодичних або імпульсних сигналів із малою шпаруватістю,

коли відношення $\frac{T_g}{\tau_g}$ становить декілька одиниць, де τ_g – тривалість

досліджуваного прямокутного сигналу.

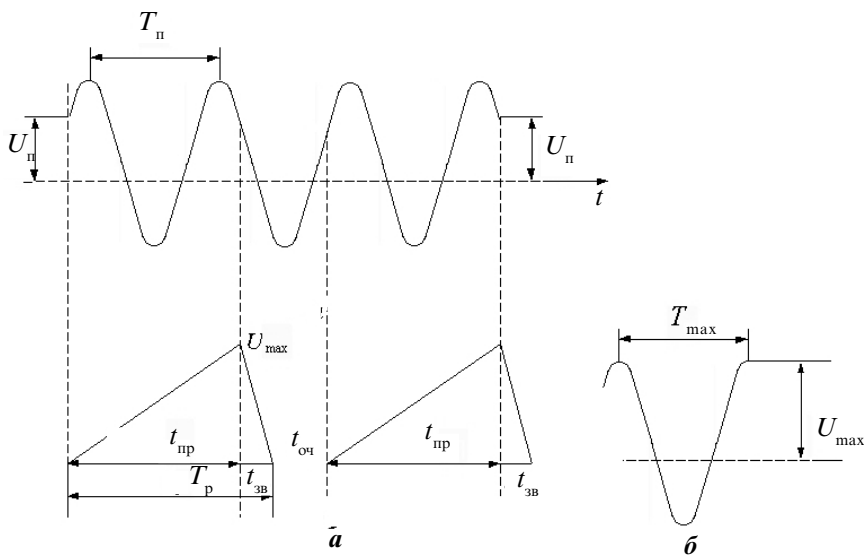


Рис. 2.3

Параметри сигналів

Синусоїдальний сигнал: напруга на вході осцилографа змінюється за законом: $U = U_m \sin(\omega t + \varphi_0)$, де U – напруга в момент часу t ; $\omega = \frac{2\pi}{T}$ – колова частота; T – період сигналу; $\nu = \frac{1}{T}$ – частота коливань; $\varphi = \omega t + \varphi_0$ – фаза сигналу; φ_0 – початкова фаза; U_m – амплітуда сигналу. Прямокутний сигнал зображено на рис. 2.4, де τ – тривалість імпульсу; T – період прямокутного

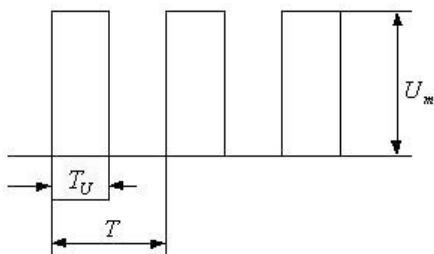


Рис. 2.4

імпульсу; $\frac{T}{\tau}$ – шпаруватість.

Методика виконання роботи

1. З'єднати кабелями вихід звукового генератора із входом підсилювача звукового генератора, вихід підсилювача – з клеммами PQ перетворювача

імпульсів ФПЕ9; із виходу перетворювача ($\odot \rightarrow$) подати напругу на вхід ($\rightarrow \odot$) 30PF каналу І осцилографа.

2. З'єднати вхід каналу ІІ із гніздами виходу калібратора: $\perp$ та $\odot \rightarrow \sqcap$ 1,2 В 1 кГц, що знаходиться на правій боковій панелі осцилографа.

3. Установити ручку $\star$ (Яскравість) осцилографа в крайнє ліве положення; ручки $\odot$ (фокус), $\blacklozenge$ (зміщення по вертикалі), " $\leftrightarrow$ " (зміщення по горизонталі) – в середнє.

4. Підключити звуковий генератор, підсилювач ЗГ, блок живлення, осцилограф до мережі, ввімкнути тумблери "Мережа", відтягнути їх на себе. При цьому повинні загорітися контрольні лампочки.

5. Після 2–3 хв прогріву осцилографа натиснути кнопку "І" перемикача каналів (у лівій частині передньої панелі осцилографа) та кнопку синхронізації "внутрішня І" (права частина передньої панелі).

6. Установити на звуковому генераторі задану викладачем частоту ν ($50 \text{ Гц} < \nu < 104 \text{ Гц}$), ручкою " $\boxtimes$ " встановити декілька поділок на шкалі вольтметра. На перетворювачі імпульсів ФПЕ9, натиснути кнопку " $\sim$ " (синусоїдальні сигнали), тим самим сигналами будуть передаватися на вхід каналу І осцилографа.

7. Установити (плавно) ручку " $\&$ ", яка знаходиться на осях ступеневого перемикача "час/поділka" та "вольт/поділka" обох каналів, у крайнє праве положення, ручку "Рівень" – у положення "Автоматичне" (утопити), перемикач 2 "Розтяжка" (зверху у правій частині) – у положення " $\sqcap \times 1$ " (без розтяжки по горизонталі. Спробуйте ввімкнути та вимкнути. Що відбувається?) Тумблер "Перемикач синхронізації" поставити у положення "Від руки".

8. Розрахувати за заданою частотою ν період $T = 1/\nu$ синусоїдального сигналу, помножити на m (число періодів на всю шкалу осцилографа, $2 < m < 5$) та поділити на 10 (число великих поділок шкали). Ступеневий перемикач "час/поділka" установити на відмітці, близькій до одержаного $mT/10$.

9. Перевести ручку " $\star$ " (Яскравість) у середнє положення; ступеневим перемикачем "вольт/поділka" І каналу досягти повного розмаху коливань, який би складав 6–10 великих поділок екрану.

Ручками "Яскравість", "Фокус" досягти необхідної яскравості та фокусування зображення.

10. Установити ручкою " $\blacktriangleleft\blacktriangleright$ " зображення симетрично відносно середньої лінії екрану.

11. Виміряти у малих поділках (і перевести у великі поділки та їх частини) амплітуду U_m та період T синусоїдальних сигналів.

12. Вивести ручкою " $\longleftrightarrow$ " лівий край зображення синусоїди в поле зору. Виміряти напругу рівня синхронізації U_n .

13. Пересунути ручкою " $\longleftrightarrow$ " в поле зору правий край зображення. Підрахувати при цьому кількість K цілих періодів синусоїди між лівим та правим кінцями зображення.

14. Виміряти в поділках U_k – напругу, при якій закінчується розгортка. Від руки зобразити сигнал на малюнку, при цьому звернути увагу, на висхідній чи низхідній гілках синусоїди знаходяться початок та кінець зображення.

15. Провести такі вимірювання для чотирьох–шести положень ручки "Рівень", при цьому необхідно одержати початкову точку зображення на початку та в кінці висхідної, а потім низхідної гілки синусоїди.

16. Перевести показання ступеневих перемикачів T , U_m , U_n , U_k відповідно в секунди та вольти.

17. Розрахувати початкову фазу за формулами:

$$\text{висхідна } \varphi_n = \arcsin \frac{U_n}{U_m};$$

$$\text{низхідна } \varphi_n = \pi - \arcsin \frac{U_n}{U_m}.$$

18. Розрахувати кінцеву фазу за формулами:

$$\text{висхідна } \varphi_k = \arcsin \frac{U_k}{U_m};$$

$$\text{низхідна } \varphi_k = \pi - \arcsin \frac{U_k}{U_m}.$$

19. Розрахувати час прямого руху променя:

$$t_{\text{пр}} = \frac{\varphi_k + 2\pi(K+1) - \varphi_n}{\omega}.$$

20. Розрахувати час очікування:

$$t_{\text{оч}} = \frac{\varphi_n - \varphi_k}{\omega}.$$

21. Розрахувати період розгортки:

$$T = t_{\text{пр}} + t_{\text{оч}}; \quad T_{\text{р}} \text{ кратно } T.$$

22. Записати рівняння синусоїди.

Лабораторна робота К-3

ВИЗНАЧЕННЯ ЛОГАРИФМІЧНОГО ДЕКРЕМЕНТА ТА КОЕФІЦІЄНТА ЗАТУХАННЯ МЕХАНІЧНИХ КОЛИВАНЬ

Мета роботи: визначення логарифмічного декременту та коефіцієнта затухання маятника і камертона.

У реальних фізичних системах, які здійснюють коливальний рух, завжди діють сили внутрішнього і зовнішнього тертя та опору середовища. Тому реальні коливальні рухи відбуваються з поступовими втратами енергії коливань на роботу проти сил опору і створення коливань у навколишньому середовищі. Зменшення механічної енергії проявляється в тому, що з часом зменшується амплітуда коливань. Коливання, які відбуваються з поступовою втратою початкової енергії коливальної системи, називаються затухаючими.

Більшість механічних коливань відбуваються при невеликій швидкості коливального руху. У такому разі сила опору $F_{\text{оп}}$ пропорційна швидкості:

$$F_{\text{оп}} = -rv = -r \frac{dx}{dt},$$

де r – коефіцієнт опору; знак "мінус" вказує на те, що вектори $\vec{F}_{\text{оп}}$ і $\vec{v}$ мають протилежні напрями. Якщо на коливальну систему діють пружна (або квазіпружна) сила і сила опору, то рівняння другого закону Ньютона запишеться у вигляді

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = -kx - r \frac{dx}{dt}.$$

Введемо позначення: $2\beta = \frac{r}{m}$, $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$. Тоді одержимо диференціальне рівняння затухаючих коливань:

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + 2\beta \frac{dx}{dt} + \omega_0^2 x = 0. \quad (1)$$

Масу тіла m , коефіцієнт опору r і коефіцієнт пружності k ще називають параметрами коливної системи, ω_0 – власною частотою коливань. При не досить великих затуханнях ($\omega_0 > \beta$) закон затухаючих коливань як розв'язок диференціального рівняння (1) має вигляд

$$x = A e^{-\beta t} \cos(\omega t + \varphi), \quad (2)$$

де β – коефіцієнт затухання. Як видно з рівняння (2), амплітуда затухаючих коливань змінюється за експоненціальним законом ($A_t = A_0 e^{-\beta t}$), A_0 – початкова амплітуда затухаючих коливань. З (2) випливає, що відношення амплітуд A_1 і A_2 двох послідовних коливань, відокремлених одне від одного інтервалом часу $t = T$, залишається сталим:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{A_0 e^{-\beta t}}{A_0 e^{-\beta(t+T)}} = e^{\beta T}.$$

Тому при дослідженнях затухаючих коливань вводиться величина

$$\ln \frac{A_1}{A_2} = \lambda = \beta T, \quad (3)$$

яку називають логарифмічним декрементом затухання. Отже,

$$A = A_0 e^{-\lambda t/T}. \quad (4)$$

За час t , протягом якого амплітуда коливань зменшиться в e разів, система здійснить число коливань $N_e = t/T$.

$$\text{З умови } e^{-\lambda t/T} = e^{-1} \text{ маємо } \frac{\lambda}{T} t = 1 \text{ і } \lambda = \frac{T}{t} = \frac{1}{N_e}.$$

Дослідним шляхом коефіцієнт затухання β легко можна визначити, якщо виміряти проміжок часу t_2 , протягом якого амплітуда коливань зменшиться вдвічі, тобто

$$A_t = \frac{1}{2} A_0.$$

Враховуючи (4), запишемо:

$$\frac{1}{2} A_0 = A e^{-\beta t}, \quad \text{або} \quad \ln 2 = \beta t_2,$$

звідки
$$\beta = \frac{\ln 2}{t_2}. \quad (5)$$

Підставивши (5) в (3), одержимо:

$$\lambda = \frac{T}{t_2} \ln 2. \quad (6)$$

Формули (5) і (6) дозволяють визначити коефіцієнт і логарифмічний декремент затухання маятника і камертона.

Для характеристики коливальної системи часто використовують таку величину:

$$Q = \frac{\pi}{\lambda} = \pi N_e, \quad (7)$$

яку називають добротністю. Вона пропорційна числу коливань N_e , що здійснюється системою за проміжок часу, протягом якого амплітуда коливань зменшується в e разів.

Методика виконання роботи

Досліджуваний маятник (рис. 3.1) являє собою довгу нитку, на кінець якої підвішена кулька. У нижній частині кульки закріплена стрілка, яка дозволяє фіксувати на нерухомій шкалі амплітудні положення маятника A .

1. Відхиливши маятник на невеликий кут від положення рівноваги, зафіксувати за допомогою секундоміра початковий момент часу, якому відповідає деяке значення амплітуди коливання. У

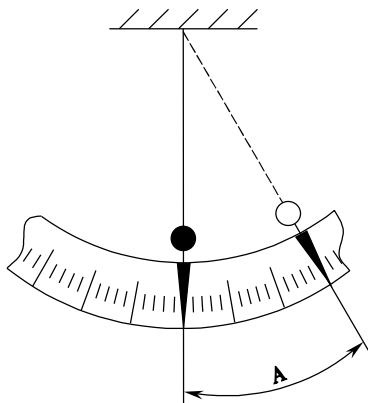


Рис. 3.1

момент, що відповідає зменшенню амплітуди коливань вдвічі, зупинити секундомір і визначити час t_2 .

2. Підрахувати період коливання маятника, визначивши час τ , протягом якого маятник здійснить задане число коливань N (не менше 50), тобто

$$T = \frac{\tau}{N}.$$

3. Виміряти час τ і t_2 не менше трьох разів і результати усереднити. За формулами (5)–(7) визначити β , λ , Q для маятника.

Камертон (рис. 3.2) монтується на спеціальній підставці. На одній із вільних ніжок закріплена стрілка, на яку наводиться вертикально встановлений мікроскоп з окулярною шкалою. Камертон освітлюється джерелом світла S . Ударом спеціального молоточка можна визвати коливання камертона.

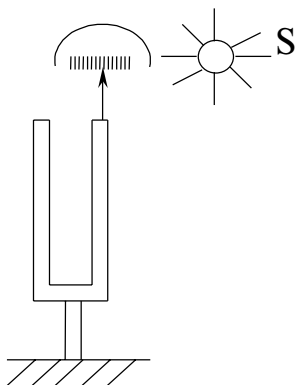


Рис. 3.2

Частота коливань камертона $\nu = 64$ Гц відома, значить, період коливань $T = 1/\nu$ також відомий. Для камертона потрібно виміряти тільки час t_2 (3...5 разів), протягом якого амплітуда коливань зменшиться вдвічі, потім за формулами (5) і (6) обчислити його коефіцієнт та логарифмічний декремент затухання.

4. Похибку вимірювань для маятника і камертона знайти методом диференціювання натурального логарифму.

5. Дати порівняльний аналіз результатів.

ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ ТІЛА МЕТОДОМ КРУТИЛЬНИХ КОЛИВАНЬ

Мета роботи: вивчення крутильних коливань.

Гармонічними крутильними коливаннями будь-якого тіла називається періодичний рух відносно осі, що проходить через центр інерції цього тіла, коли кут відхилення від положення рівноваги змінюється за законом синуса чи косинуса:

$$\varphi = \varphi_0 \cos \omega_0 t ,$$

де φ_0 – амплітудне значення кута відхилення; ω_0 – циклічна частота коливань (кутова швидкість руху).

Крутильні коливання виникають у пружних системах у тому випадку, коли окремі елементи цих систем у процесі коливання зазнають деформації кручення. Якщо будь-яке тіло, підвішене на довгому пружному дроті, повернути на деякий кут φ , то деформація, що виникає під час кручення дроту, приведе до появи пружних сил, момент M яких пропорційний куту повороту:

$$M = -c\varphi , \quad (1)$$

де c – модуль кручення, чисельно дорівнює моменту пари сил, який закручує дріт на кут в 1 рад. Знак "мінус" вказує на протилежність напрямків φ та M .

Під дією виникаючих у дроті пружних сил тіло починає коливатися. За основним законом динаміки обертального руху момент пружних сил пропорційний кутовому прискоренню ε та моменту інерції гребного гвинта I : $M = I\varepsilon$, де $\varepsilon = d^2 \varphi / dt^2$.

Тоді

$$M = \frac{d^2 \varphi}{dt^2} I . \quad (2)$$

Моментом інерції тіла відносно даної осі називається сума моментів інерції матеріальних точок, із яких складається тіло, відносно цієї ж осі. Моментом інерції матеріальної точки відносно даної осі називається скалярна величина, яка дорівнює добутку маси точки на квадрат відстані її до осі обертання.

Моментом інерції дроту можна знехтувати, оскільки радіус

поперечного перерізу його малий і маса набагато менша, ніж маса гребного гвинта.

Прирівнюючи праві частини виразів (1) та (2), запишемо:

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} I = -c\varphi \quad \text{або} \quad \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -\omega_0^2 \varphi,$$

де $c/I = \omega_0^2$.

Одержано однорідне диференціальне рівняння другого порядку, яке описує гармонічне коливання гребного гвинта. Розв'язком такого рівняння є функція:

$$\varphi = \varphi_0 \sin \omega_0 t.$$

Циклічна частота ω_0 гармонічних коливань пов'язана з періодом коливань $\omega_0 = 2\pi/T$. Підставивши значення ω_0 , виражене через модуль кручення та момент інерції, одержимо:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{c}}. \quad (3)$$

Оскільки деформація кручення зводиться до деформації зсуву, то модуль кручення c та модуль зсуву G матеріалу дроту пов'язані простим співвідношенням:

$$c = G \frac{\pi r^2}{2l}, \quad (4)$$

де r – радіус дроту; l – довжина дроту.

Підставимо значення модуля кручення із (4) до формули (3) та знайдемо момент інерції тіла:

$$I = \frac{T^2 r^4 G}{8\pi}. \quad (5)$$

У даній роботі використовується пружний дріт довжиною 1,5...2,0 м, який верхнім кінцем затиснений у кронштейні, встановленому на стіні. Вільний кінець дроту закріплено до центра тіла. Закручування верхнього кінця дроту здійснюється спеціальним пристроєм, змонтованим на кронштейні. Для цього треба по-

тягнути шнурок донизу і повільно відпустити його. Таке закручування викличе крутильні коливання гвинта на дробі.

Методика виконання роботи

1. Викликати крутильні коливання гребного гвинта.

2. Визначити за допомогою секундоміра час t , за який здійснюється $N = 50 \dots 100$ коливань (число коливань задається викладачем), та підрахувати період T коливань за формулою

$$T = \frac{t}{N}.$$

Виконати цей дослід не менше трьох разів.

3. Виміряти декілька разів довжину дроту лінійкою, а діаметр дроту мікрометром.

4. Знайти середнє значення цих величин.

5. Підставляючи значення $T_{\text{ср}}$, $l_{\text{ср0}}$ та $l_{\text{ср}}$ у (5), обчислити момент інерції тіла. Для дроту $G = 8 \cdot 10^{10} \text{ Н/м}^2$.

6. Похибки ΔT , Δl , Δd знайти методом середнього значення, похибку моменту інерції тіла ΔI – методом диференціювання натурального логарифма.

Лабораторна робота К-5

ЗНАХОДЖЕННЯ ВЕЛИЧИНИ МАГНІТНОГО МОМЕНТУ ЛІНІЙНОГО МАГНІТУ ЗА МЕТОДОМ ГАУССА

Мета роботи: вивчення методу крутильних коливань, що використовується для визначення магнітного моменту постійного магніту.

На лінійний магніт, який поміщено в однорідне магнітне поле, діє обертальний момент, який намагається розташувати вісь магніту в напрямку індукції (або напруженості) цього поля (рис. 5.1).

Величина обертального моменту пропорційна індукції B зовнішнього поля, синусу кута α між напрямками осі магніту та зовнішнього магнітного поля і залежить від властивостей даного магніту:

$$M = PB \sin \alpha,$$

де P – магнітний момент магніту.

Звідси видно, що магнітний момент чисельно дорівнює обер-
тальному моменту пари, діючої на даний магніт в полі, індукція
якого дорівнює одиниці, при куті, що
дорівнює $\pi/2$, між напрямком осі магні-
титу та зовнішнього поля.

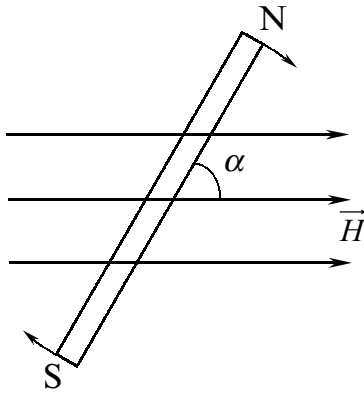


Рис. 5.1

У даній роботі зовнішнім магніт-
ним полем є магнітне поле Землі.

Підвісимо магніт на непружній
нитці так, щоб його вісь розташува-
лась горизонтально в площині магніт-
ного меридіану Землі. Повернемо
його в горизонтальній площині на не-
великий кут α , щоб $\sin \alpha \approx \alpha$, та відпу-
стимо. Тоді під дією горизонтальної
складової магнітного поля Землі ви-
никнуть коливання магніту в горизон-

тальній площині.

У цьому випадку вираз для визначення обер-
тального моменту набуває вигляду

$$M = P\mu_0 H_r \alpha \quad (1)$$

(для повітря $\mu = 1$). З другого боку, за основним рівнянням дина-
міки обертального руху обертальний момент пропорційний кутो-
вому прискоренню:

$$M = -I\epsilon = -I \frac{d^2 \alpha}{dt^2}, \quad (2)$$

де I – момент інерції магніту відносно нитки підвісу.

Знак "мінус" вказує на те, що обертальний момент, обумовле-
ний дією магнітного поля Землі на магніт, і кутове прискорення
мають протилежні напрямки.

Нитка підвісу підбирається так, щоб її модуль був малим, що
дозволяє знехтувати пружними силами, які виникають при кру-
ченні. Тому обертальні моменти у виразах (1) та (2), обумовлені
дією одних і тих же сил, рівні між собою:

$$P\mu_0 H_r \alpha = -I \frac{d^2 \alpha}{dt^2},$$

звідки

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{P\mu_0 H_r}{I} \alpha = 0, \quad (3)$$

де $\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ Гн/м .

Вираз (3) є однорідним диференціальним рівнянням гармонічного коливального руху (прискорення пропорційне взятому з протилежним знаком зміщенню), отже,

$$\frac{P\mu_0 H_r}{I} = \omega_0^2, \quad (4)$$

де $\omega_0 = 2\pi/T$ – циклічна частота коливання магніту; T – період коливання магніту.

Підставимо значення ω_0 до рівняння (4) і, розв'язуючи його відносно T , одержимо

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{P\mu_0 H_r}}. \quad (5)$$

Горизонтальну складову магнітного поля Землі H_r визначимо за допомогою бусолі. Для цього розташуємо бусоль у даному місці у відсутності магніту. У цьому випадку стрілка бусолі під дією магнітного поля Землі розташується у площині магнітного меридіану. Потім, на спеціальному столику покладемо магніт таким чином, щоб його вісь була перпендикулярною площині магнітного меридіану та знаходилась на одному рівні зі стрілкою бусолі. Стрілка бусолі під дією магнітного поля магніту відхилиться від початкового положення на кут ϕ і розташується у напрямку H результуючого поля. На рис. 5.2 видно, що

$$\text{tg}\phi = \frac{H_m}{H_r}, \quad (6)$$

де H_m – напруженість магнітного поля, створеного магнітом.

Магніт слід розташувати на достатньо великій відстані від бусолі, щоб його магнітне поле в області стрілки бусолі можна було вважати однорідним.

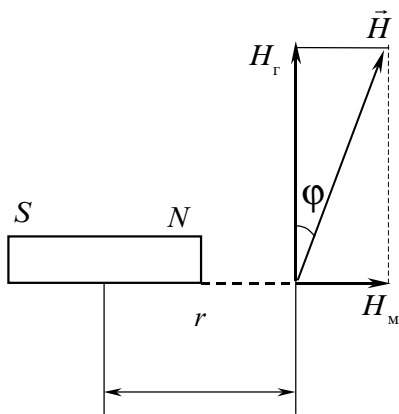


Рис. 5.2

Величину напруженості магнітного поля магніту на його осі можна визначити, виходячи з еквівалентності полів котушки індуктивності та магніту. Відомо, що напруженість магнітного поля колового струму на його осі визначається формулою

$$H = \frac{IR^2}{2(R^2 + r^2)^{3/2}},$$

де R – радіус витка; r – відстань від центра цього витка до точки на осі, в якій визначається напруженість.

При $r \gg R$ ця формула набуває вигляду

$$H_i = \frac{IR^2}{2r^3} = \frac{IS}{2\pi r^3},$$

де S – площа, охоплена струмом.

Якщо магнітне поле утворено котушкою із числом витків N , то остання формула буде мати вигляд

$$H_i = \frac{IS}{2\pi r^3},$$

але ISH – магнітний момент котушки, тому

$$H_i = \frac{P}{2\pi r^3}.$$

Виходячи з еквівалентності магнітних полів котушки та лінійного магніту, можна записати:

$$H_m = \frac{P}{2\pi r^3},$$

де r – відстань вздовж осі магніту від його середини до точки, в якій визначається напруженість.

Підставимо значення H_m у рівняння (6):

$$H_r = \frac{P}{2\pi r^3 \operatorname{tg}\varphi}.$$

Підставляючи значення H_r у рівняння (5) та розв'язуючи його відносно P , одержимо

$$P = \frac{2\pi}{T} \cdot \sqrt{\frac{2\pi r^3 \operatorname{tg}\varphi}{\mu_0}} I. \quad (7)$$

Методика виконання роботи

1. Підвісити магніт та переміщенням точки підвісу досягти, щоб його вісь була розташована горизонтально.

2. Почекати, доки припиняться коливання. Вертикальна площина, в якій розташується магніт, буде площиною магнітного меридіану.

3. Трохи повернути магніт у горизонтальній площині (на $3\dots5^\circ$) та відпустити його.

4. Пропустивши декілька перших коливань, зафіксувати час $10\dots15$ повних коливань та за одержаними даними визначити період коливань магніту T .

5. Віддаливши магніт на $5\dots7$ м від місця роботи, встановити бусоль. Для цього шкалу бусолі повернути так, щоб її нуль знаходився проти показника лінійки, а потім обертом усього приладу досягти збігу стрілки бусолі з нульовою поділкою її шкали.

6. Не зміщуючи прилад, покласти на столик магніт таким чином, щоб відстань між серединою магніту та центром бусолі була не менша $0,4\dots0,5$ м. Виміряти відстань r та кут φ відхилення стрілки бусолі.

7. Не змінюючи відстані, повернути магніт протилежним полюсом до бусолі та знову виміряти кут φ . При розрахунках кути, одержані при першому та другому вимірах, усереднити. Дослід провести для трьох різних відстаней r . За одержаними даними обчислити $r^3 \operatorname{tg}\varphi$ і середнє значення підставити в робочу формулу (7).

Примітка. Якщо при одній і тій же відстані, але різному положенні полюсів магніту кути φ' та φ'' різняться на декілька градусів, слід перевірити установку бусолі.

8. Обчислити величину моменту інерції лінійного магніту прямокутного перерізу відносно вертикальної осі, що проходить через центр тяжіння, за формулою

$$I = \frac{m}{12}(a^2 + b^2).$$

Масу магніту m знайти зважуванням, а його довжину a та ширину b виміряти лінійкою.

9. Підставити у формулу (7) одержані експериментально або розрахунками значення T , I , $r^3 \operatorname{tg} \varphi$ та обчислити магнітний момент магніту.

10. Обчислити похибку визначення магнітного моменту P методом диференціювання натурального логарифму. Похибки періоду коливань та добутку $r^3 \operatorname{tg} \varphi$ знайти методом середнього значення, а похибку моменту інерції I – методом диференціювання натурального логарифму.

Лабораторна робота К-6

ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО РЕЗОНАНСУ

Мета роботи: зняття резонансних кривих коливального контуру та перевірка формули Томсона.

Коло, яке має ємність, індуктивність та активний опір, називається коливальним контуром.

Якщо зарядити конденсатор та надати йому можливість розряджатися через котушку, у контурі виникнуть електромагнітні коливання, обумовлені переходом енергії електричного поля конденсатора в енергію магнітного поля котушки та навпаки.

Період коливань

$$T = 2\pi \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}}. \quad (1)$$

Якщо омичний опір R кола дуже малий, а індуктивність порівняно велика, то формула (1) набуває вигляду:

$$T = 2\pi\sqrt{LC}. \quad (2)$$

Це формула Томсона для незатухаючих коливань.

Якщо до коливального контуру підключити джерело зовнішньої змінної ЕРС, то під її дією у контурі виникнуть вимушені коливання (рис. 6.1). Якщо ЕРС змінюється періодично, по закону

$$E = E_0 \sin \omega t,$$

то і вимушені коливання будуть синусоїдальними. Диференціальне рівняння таких коливань запишеться у вигляді

$$L \frac{dI}{dt} + RI + U = E_0 \sin \omega t, \quad (3)$$

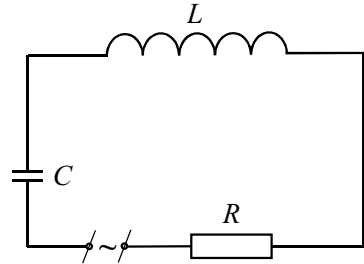


Рис. 6.1

де $L \frac{dI}{dt}$ – падіння напруги на індук-

тивності; RI – падіння напруги на активному опорі; $U = \frac{q}{C}$ – падіння напруги на конденсаторі (q – заряд на обкладинках конденсатора). Частинний розв'язок неоднорідного диференціального рівняння має вигляд $I = I_0 \sin(\omega t - \phi)$, тобто показує, що величина струму буде змінюватись з тією ж частотою ω , що й ЕРС.

Загальний розв'язок рівняння (3) містить також вираз $I_0 e^{-\beta t} \sin \omega t$, який являє собою загальний розв'язок диференціального рівняння затухаючих коливань. Проте через деякий час, коли коливання установляться, вплив цього розв'язку припиниться. Амплітуда струму буде

$$I_0 = \frac{E_0}{\sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{\omega C})^2}}$$

і досягає максимуму при $L\omega - \frac{1}{\omega C} = 0$.

Відповідно графік залежності $I = f(\nu)$ має вигляд рис. 6.2, звідки

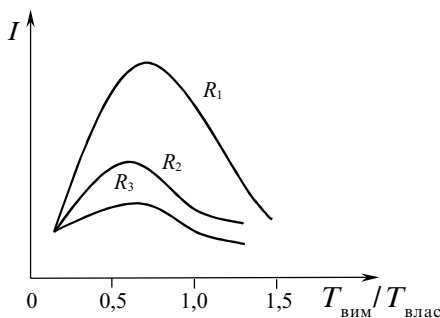


Рис. 6.2

$$2\pi\nu_{\text{рез}} = \omega_{\text{рез}} = \frac{1}{\sqrt{LC}}.$$

Із формули (1) видно, що циклічна частота коливань контура

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}, \text{ тоб-}$$

то менша за циклічну частоту вимушених коливань при

резонансі. При $R \rightarrow 0$ резонанс настає при частоті, яка дорівнює частоті власних коливань контура.

При резонансі амплітуда струму I_0 набуває максимального значення: $I_{0\text{max}} = \frac{E_0}{R}$. Вона тим більша, чим менший омичний опір.

На рис. 6.2 наведені резонансні криві. Чим менший R , тим гостріший максимум.

Падіння напруги:

на омичному опорі $U_R = IR = I_0 R \sin(\omega t - \varphi)$;

на індуктивності

$$U_L = L \frac{dI}{dt} = I_0 \omega t \cos(\omega t - \varphi); \quad (4)$$

на ємності

$$U_c = \frac{q}{C} = \frac{1}{C} \int Idt = -\frac{I_0}{\omega C} \cos(\omega t - \varphi) = \frac{I_0}{\omega C} \cos[(\omega t - \varphi) + \pi]. \quad (5)$$

Із (4) та (5) видно, що U_c зміщена по фазі на π відносно U_L , тобто напруги на ємності та індуктивності мають протилежні фази.

Із рівнянь (4) та (5) випливає, що амплітудні значення напруг на індуктивності та ємності будуть:

$$U_{0L} = \omega L I_0; \quad U_{0C} = \frac{1}{\omega C} I_0. \quad (6)$$

У разі резонансу $I_0 = \frac{E_0}{R}$, а в зв'язку з тим, що $\omega_p L = \frac{1}{\omega_p C}$,

$$U_{0L} = -U_{0C} \text{ і } U_{0L} = U_{0C} = \frac{1}{\omega_p CR} E_0, \quad (7)$$

де $\omega_p = 2\pi\nu$ – циклічна частота при резонансі.

Отже, $U_c + U_L = 0$.

Якщо, крім того, $\frac{1}{\omega_p C} = \omega_p L > R$, то, як видно із (6) та (7),

напруги на ємності та індуктивності більші, ніж E_0 . Цей випадок має назву резонансу напруг.

Якщо контур приєднати до джерела зовнішньої ЕРС паралельно, то виникає резонанс струмів. У цьому випадку струм у підвідних провідниках буде значно слабшим, ніж у окремих витках контура (рис. 6.3).

Методика виконання роботи

Резонансу можна досягти двома шляхами: підбором частоти власних коливань контура (шляхом зміни L та C) або підбором частоти зовнішньої ЕРС до частоти власних коливань контура. Ми підемо другим шляхом. Для утворення зовнішніх коливань використаємо ЕРС, що створюється генератором звукових коливань (інтервал частот 20...20000 Гц). Детально із генератором необхідно ознайомитися в лабораторії.

1. Зібрати коло (рис. 6.4).

2. Встановити задане викладачем значення вихідної напруги генератора, передчасно визначити резонансну частоту. Для цього, не записуючи показань приладу,

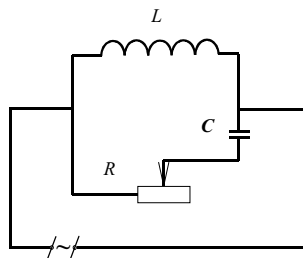


Рис. 6.3

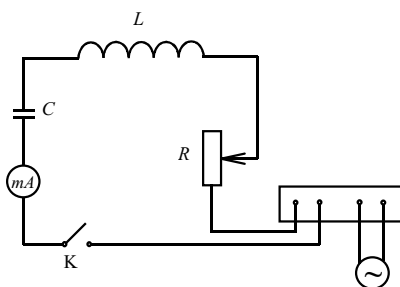


Рис. 6.4

змінювати ручкою "Частота" вихідну частоту звукового генератора (ЗГ), зафіксувавши при цьому максимальне значення струму.

3. Зняти при трьох різних значеннях ємності залежності між частотою вимушених коливань і струмом. Знаючи приблизне значення резонансної частоти, при наближенні до піку I брати менший інтервал його зміни. Результати занести в таблицю.

Для кожного C бажано зняти 15...20 значень I та ν .

4. Побудувати графік залежності $I = f(\nu)$.

5. Побудувати поле похибок. Похибки I брати за класом точності амперметра, похибку для ν – за ціною поділки звукового генератора.

6. Користуючись формулою (2), перевірити відповідність між зміною ємності та частоти:

$$T_1 = 2\pi\sqrt{LC_1} ; \quad T_2 = 2\pi\sqrt{LC_2} ;$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} ; \quad \frac{\nu_2}{\nu_1} = \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} .$$

Лабораторна робота К-7

ВИЗНАЧЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРОНИКНОСТІ ДІЕЛЕКТРИКІВ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРИЧНОГО РЕЗОНАНСУ

Мета роботи: ознайомлення з явищем електричного резонансу (напруг) та визначення діелектричної проникності твердого діелектрика.

Внесений в електричне поле між обкладинками конденсатора діелектрик поляризується, що супроводжується перерозподілом зарядів у молекулах неполярного діелектрика або поворотами дипольних молекул полярного діелектрика. Це призводить до того, що в діелектрику утворюється додаткове електричне поле, яке має напрям, протилежний напрямку поля, утвореного обкладинками конденсатора (рис. 7.1). Таким чином, поляризація діелектрика послаблює поле.

Електричне поле в діелектрику характеризується відносною діелектричною проникністю середовища, яка показує, у скільки разів послаблюється електричне поле за рахунок діелектрика.

Відношення напруженості електричного поля у вакуумі до напруженості поля в однорідному ізотропному діелектрику при незмінних зарядах, що утворюють поле, має назву *діелектричної проникності діелектрика*:

$$\epsilon = \frac{E_0}{E}.$$

У зв'язку з тим, що у молекулах діелектрика при внесенні його в електричне поле відбувається зміщення центра симетрії позитивних та негативних зарядів (внаслідок неполярної молекули), утворюється електричний диполь. У полярних молекулах електричний диполь існує навіть при відсутності зовнішнього електричного поля.

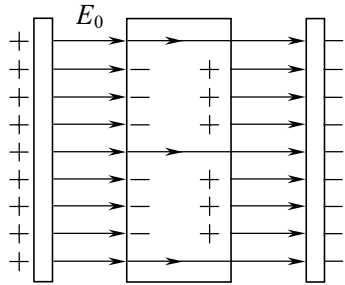


Рис. 7.1

Вектор поляризації $\vec{p}$ є характеристикою поляризації діелектрика. Він дорівнює геометричній сумі дипольних моментів молекул $\vec{p}_i$ (диполів), які знаходяться в одиниці об'єму:

$$\vec{p} = \frac{\sum_{i=1}^N q_i \vec{L}_i}{\Delta V} = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{p}_i}{\Delta V}.$$

У випадку неоднорідного діелектрика слід перейти до граничного значення вектора поляризації, коли елементарний об'єм ΔV прямує до нуля.

Вектор поляризації залежить від властивостей діелектрика та від вектора напруженості результуючого електричного поля $\vec{p} = \epsilon_0 \chi \vec{E}$, де χ – діелектрична сприйнятливість.

Позначимо напруженість зовнішнього поля, обумовленого вільними зарядами конденсатора, через $\vec{E}_0$, а напруженість поля зв'язаних індукованих зарядів – через $\vec{E}_\sigma$. Тоді напруженість ре-

зультуючого поля $\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}_\sigma$. У зв'язку з тим, що поле, обумовлене поляризацією, має напрям, протилежний зовнішньому полю,

$$E = E_0 - E_\sigma = E_0 - \frac{P_0}{\epsilon_0} = E_0 - \chi E,$$

звідки $E(1+\chi) = E_0$ або $\frac{E_0}{E} = 1 + \chi = \epsilon$.

Як бачимо, для дослідного визначення діелектричної проникності речовини достатньо виміряти напруженість електричних полів E_0 та E .

У даній роботі використовуємо залежність електроємності конденсатора від діелектричних властивостей речовини, що знаходиться між пластинами конденсатора. При наявності діелектрика

електроємність конденсатора збільшується в ϵ разів, тобто $\epsilon = \frac{C}{C_0}$,

де C_0 і C – електроємність конденсатора без діелектрика і з діелектриком.

Для визначення діелектричної проникності твердого діелектрика використовуємо метод електричного резонансу (явище резонансу див. в роботі К-6).

Як відомо, при досягненні резонансу $\omega_p^2 = \frac{1}{LC}$, де

$\omega_p = 2\pi\nu_p$ – циклічна частота (резонансна); ν_p^2 – частота коли-

вань (резонансна). Тоді $4\pi^2\nu_p^2 = \frac{1}{LC}$, звідки $\nu_p^2 = \frac{1}{4\pi^2 LC}$, де L –

індуктивність котушки; C – електроємність конденсатора.

Якщо конденсатор плоский, з площею пластин S та відстанню між пластинами d , між якими знаходиться діелектрик з діелектричною проникністю ϵ , то його електроємність

$$C = \frac{\epsilon\epsilon_0 S}{d}. \quad (1)$$

Тоді

$$v_p^2 = \frac{d}{4 \pi^2 L \epsilon \epsilon_0 S} .$$

Із (1) знайдемо

$$\epsilon = \frac{d}{4 \pi^2 v_p^2 \epsilon_0 L S} . \quad (2)$$

Формула (2) є робочою у даній роботі.

Методика виконання роботи

1. Одержати твердий діелектрик, діелектричну проникність ϵ якого необхідно знайти, виміряти розміри пластин конденсатора лінійною та товщину діелектрика – мікрометром (не менше трьох разів).

2. Зібрати коло за схемою рис. 7.2, де джерелом вимушених коливань є звуковий генератор (ЗГ).

3. Знайти залежність між частотою вимушених коливань та величиною струму, частіше виконуючи заміри близько до резонансної частоти v_p .

4. Записати індуктивність котушки L коливального контура, яка задана на його панелі.

5. Побудувати графік залежності струму від частоти коливань та визначити за ним резонансну частоту v_p .

6. За формулою (2) обчислити відносну діелектричну проникність діелектрика.

7. Похибку визначити методом диференціювання натурального логарифму функції.

Примітка. Для побудови поля похибок на графіку необхідно записати клас точності міліамперметра та визначити ціну поділки шкали звукового генератора для різних меж вимірювання.

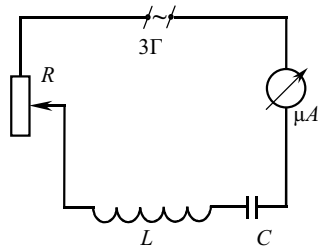


Рис. 7.2

ВИВЧЕННЯ ЗАТУХАЮЧИХ ГАРМОНІЧНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КОЛИВАНЬ

Мета роботи: вивчення впливу параметрів електричного коливального контуру на процес затухання коливань.

Затухаючі коливання контуру (рис. 8.1) описуються диференціальним рівнянням зміни заряду q на пластинах конденсатора:

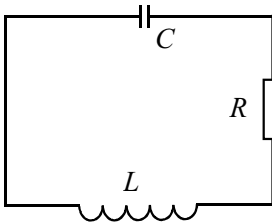


Рис. 8.1

$$\ddot{q} + 2\beta \dot{q} + \omega_0^2 q = 0, \quad (1)$$

де $2\beta = R/L$; $\omega_0^2 = 1/CL$; ω_0 – власна частота коливань, тобто частота, з якою відбувались би коливання при опорі $R = 0$ під дією лише квазіпружних сил; L – індуктивність коливального контура; R – активний опір; C – ємність конденсатора; β – коефіцієнт затухання.

Якщо розв'язати рівняння (1) з відповідними початковими умовами, то одержимо рівняння затухаючих коливань заряду:

$$q = q_m e^{-\beta t} \cos(\omega t - \alpha), \quad (2)$$

де q_m – амплітудне значення заряду при $t = 0$; α – початкова фаза;

$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}$ – частота гармонічних коливань системи.

На рис. 8.2 наведено графічний вигляд виразу (2). Початкове значення заряду q_0 залежить як від q_m , так і від початкової фази α :

$$q_0 = q_m \cos \alpha.$$

Коефіцієнт затухання обернений за величиною тому проміжку часу t , за який амплітуда коливань зменшується у e разів, тобто

$$\frac{q_{t_1}}{q_m} = \frac{1}{e} = 0,368. \quad (3)$$

Для характеристики затухаючих коливань системи (коливаль-

ного контуру) можна користуватися логарифмічним декрементом затухання λ .

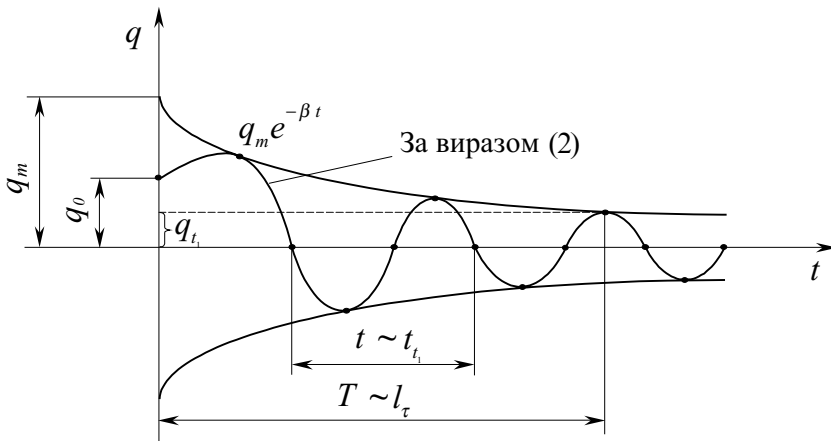


Рис. 8.2

Логарифмічний декремент затухання – логарифм відношення амплітуд коливань, узятих через проміжок часу, рівний періоду коливань T , та чисельно дорівнює оберненій величині кількості коливань, які здійснюються за той же проміжок часу t , протягом якого амплітуда зменшується в e разів:

$$\lambda = \ln \frac{q_t}{q_{t+T}} = \beta T. \quad (4)$$

Схему дослідної установки зображено на рис. 8.3. Прямокутні імпульси від генератора ГЗ-3 надходять до ємності C , із цих же клем сигнал надходить до осцилографа.

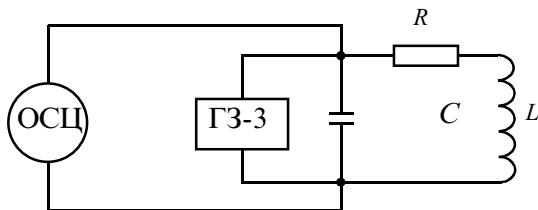


Рис. 8.3

Методика виконання роботи

1. Зібрати схему згідно з рис. 8.1 ($L = 30$ мкГн; $C_1 = 0,25$ мкФ; $C_2 = 0,025$ мкФ; $C_3 = 0,04$ мкФ).

Встановити на генераторі звукових коливань ГЗ-3 кратність 10, а на шкалі – 22 поділки.

3. Синхронізувати на екрані осцилографа зображення, повільно обертаючи на звуковому генераторі ручку настроювання частоти. Синхронізацію можна здійснити також за допомогою ручки синхронізації, стабільності та рівня на осцилографі.

4. Встановити на осцилографі розгортку у часі у положення 0,2 мс, що буде відповідати $\Delta\tau = 0,2 \cdot 10^{-3}$ с (на одну велику поділку).

5. Встановити розгортку за напругою в положення $\Delta U = 0,02$ В/поділ.

6. Перенести на міліметровий папір криву із осцилографа.

7. На одержаному графіку зробити додаткову побудову:

а) побудувати обвідну криву $q = q_m e^{-\beta t}$, яка проходитиме через амплітудні значення q , точка перетину якої із віссю ординат буде відповідати величині q_m ;

б) розрахувати за формулою (3) значення амплітуди q_{t_1} ; на осі ординат відкласти значення q_{t_1} та через одержану точку провести пряму, паралельну осі часу, до перетину її із кривою $q = q_m e^{-\beta t}$;

в) виміряти на графіку довжину відрізка l_{t_1} із точністю до цілої поділки та, враховуючи масштаб по осі часу $\Delta\tau = 0,2 \cdot 10^{-3}$ с, знайти дійсне значення часу $t_1 = \Delta\tau \cdot l_{t_1}$.

8. Підрахувати значення $\beta = 1/t_1 = 1/l_{t_1} \cdot \Delta\tau$. Похибку $\Delta\beta$ знайти методом диференціювання натурального логарифма.

9. Підрахувати період коливань T за формулою

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \beta^2}}.$$

10. Розрахувати за формулою (4) значення λ , а похибку знайти методом диференціювання натурального логарифма за формулою

$$\lambda = \beta \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \beta^2}}.$$

ВИЗНАЧЕННЯ ШВИДКОСТІ ЗВУКУ В ПОВІТРІ МЕТОДОМ АКУСТИЧНОГО РЕЗОНАНСУ

Мета роботи: визначення швидкості звуку в повітрі при дослідженні стоячої звукової хвилі.

У роботі вимірюється швидкість звуку у повітрі за допомогою додавання стоячих хвиль, що утворюються в стовпчику повітря, яке знаходиться у трубі. Один кінець труби закритий рухомим поршнем, в якому розташована мембрана динаміка. Біля другого кінця знаходиться заглушка з мікрофоном. При коливанні мембрани у трубі поширюється звукова хвиля, яка інтерферує з хвилею, відбитою від заглушки з мікрофоном. Внаслідок цього, якщо частота коливань мембрани така ж сама, як частота власних коливань повітряного стовпчика (явище резонансу), у трубі встановлюються стоячі хвилі. Стоячі акустичні хвилі аналогічні стоячим електромагнітним хвилям, які розглянуті в попередніх роботах.

Біля поверхні мембрани динаміка, що коливається, утворюється пучність зміщення (вузол надмірного, порівняно з атмосферним, тиску) стоячої хвилі, біля поверхні заглушки, навпаки, – вузол зміщення (пучність тиску).

Один з можливих розподілів вузлів та пучностей стоячої звукової хвилі у трубі показано на рис. 9.1. Суцільна крива характеризує надмірний тиск Δp у момент найбільшого стискання та розрідження повітря, пунктирна – через півперіод коливань.

Внаслідок цього на довжині резонуючого повітряного стовпчика міститься ціле число напівхвиль та чверть довжини хвилі, тобто непарне число чвертей довжин хвиль λ_n , відповідаючих частотам коливань мембрани динаміка ν_n , при яких у повітряному стовпчику виникає резонанс та утворюються стоячі акустичні хвилі.

Швидкість звуку

$$V_{зв} = \lambda_n \nu_n.$$

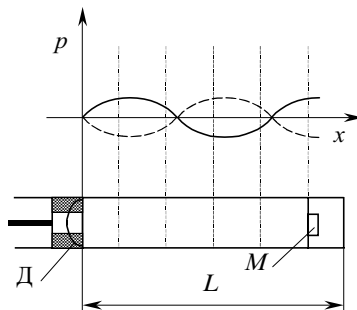


Рис. 9.1

Частоти $\nu_0, \nu_1, \dots, \nu_n$ також мають назву частот основного тону (першого, другого і т.д. обертона труби, яка звучить). Їм відповідають довжини хвиль:

$$\lambda_0 = 4L; \lambda_1 = \frac{4}{3}L; \lambda_2 = \frac{4}{5}L; \dots; \lambda_n = \frac{4}{2n+1}L,$$

де $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Номер обертона дорівнює кількості напівхвиль, утворених у стовпчику повітря. На рис. 9.1 показаний розподіл тиску в трубі для другого обертона.

Схема установки для визначення швидкості звуку в повітрі за методом акустичного резонансу зображена на рис. 9.2. У металевій трубі Тр має можливість переміщуватися поршень з динаміком Д вліво та вправо.

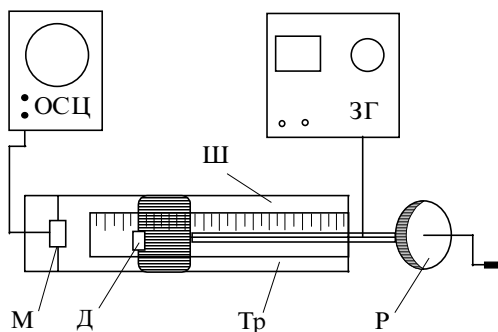


Рис. 9.2

Якщо обернути ручку Р, положення поршня в трубі визначається за шкалою Ш та стрілки, яка зв'язана з поршнем. Капсуля мікрофону вмонтована в заглушку, яка закриває другий кінець труби.

Коливання повітря в трубі збуджується мембранною динамікою Д, який живиться від генератора електричних коливань звукових частот ЗГ. Звукові коливан-

ня повітря сприймаються мікрофоном М, який перетворює механічні коливання на електричні. Електричні коливання подаються на вертикальний вхід електронного осцилографа (ОСЦ). Амплітуда зміщення електронного променя на екрані осцилографа пропорційна амплітуді тиску стоячої звукової хвилі в місці розташування мікрофона та у випадку резонансу досягає максимального значення в пучності. Правила роботи з електронним осцилографом викладені в попередніх роботах.

Методика виконання роботи

1.3 дозволу викладача ввімкнути генератор звукових частот та електронний осцилограф.

2. Установити частоту коливань звукового генератора 1000 Гц. Обертаючи ручку, розташовану праворуч, і тим самим зміщуючи поршень у трубі, знайти такі його положення, при яких амплітуда сигналу на екрані осцилографа є максимальною.

Довжина звукової хвилі визначається як подвоєна різниця відліків за шкалою між двома послідовними максимумами (при резонансі).

Кожну настройку труби в резонанс провести не менше трьох разів, знаходячи положення поршня як середньоарифметичне з одержаних відліків.

3. Подібні вимірювання провести ще при чотирьох значеннях частот у діапазоні 1000...4000 Гц (за вказівкою викладача).

4. Розрахувати швидкість руху в повітрі для кожної частоти. Визначити середнє значення швидкості звуку.

5. Похибку знаходження швидкості звуку визначити методом середнього значення.

Лабораторна робота К-10

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ КОЛИВАНЬ ЗВ'ЯЗАНИХ СИСТЕМ

Робота складається з трьох частин:

I. Вивчення затухаючих коливань.

II. Вивчення вимушених механічних коливань.

III. Вивчення биття.

I. ВИВЧЕННЯ ЗАТУХАЮЧИХ КОЛИВАНЬ

Мета роботи: експериментальне визначення коефіцієнта затухання та логарифмічного декременту затухання.

I.1. Визначення коефіцієнта затухання та логарифмічного декременту затухання

Логарифмічним декрементом затухання називається натуральний логарифм відношення двох послідовних амплітуд, взятих через період.

Якщо розглянути дві амплітуди через проміжок часу Δt та знайти їх відношення, то одержимо вираз для коефіцієнта затухання β :

$$A_1 = A_0 e^{-\beta t}; \quad A_2 = A_0 e^{-\beta(t+\Delta t)}; \quad \frac{A_1}{A_2} = e^{\beta \Delta t},$$

звідки

$$\beta = \frac{\ln \frac{A_1}{A_2}}{\Delta t}. \quad (1)$$

Для логарифмічного декременту затухання справедливий такий вираз:

$$\lambda = \beta T. \quad (2)$$

З допомогою досліду знайдемо A_1 , A_2 , період T .

Тоді за формулами (1) та (2) обчислимо коефіцієнт затухання та логарифмічний декремент затухання. Коефіцієнт затухання β

визначається за співвідношенням $\beta = \frac{r}{2M}$, де r – коефіцієнт опору;

M – маса маятника, який коливається; M у роботі можна змінювати, змінюючи масу тягарів на стержнях.

Методика виконання роботи

1.Познайомитися з будовою установки та з призначенням усіх її частин.

2. Від'єднати пружини від стержня, зв'язаного з двигуном.

3. Надіти на стержні тягарі однакової ваги та закріпити їх на однаковій відстані в нижній частині стержнів. Пружини, що зв'язують вільні стержні, залишити у верхній частині.

4. Відхилити обидва маятники в один бік на однаковий кут ($5...6^\circ$) та відпустити.

5. Ввімкнути "Скид" та після 20...50 коливань, протягом яких амплітуда зменшиться на $2...3^\circ$, натиснути "Стоп". Записати час коливань, число коливань, початкову та кінцеву амплітуди у градусах. Дослід повторити три рази.

6. Пересунути тягарі вгору на одну секцію та повторити дослід.

7. Провести дослід для п'яти-семи положень тягарців на стержнях. Для кожного дослідів визначити середній період. Потім обчислити логарифмічний декремент затухання та коефіцієнт затухання для кожної відстані тягарців від осі обертання за формулами (1) і (2).

8. Побудувати за одержаними даними графік залежності логарифмічного декременту затухання та коефіцієнту затухання від положення тягарців на осі обертання.

9. Обчислити коефіцієнт опору $r = 2\beta M$. Маса стержнів та пружин відома та записана на установці.

I.2. Вивчення залежності коефіцієнту затухання та логарифмічного декременту затухання від маси маятника

1. Від'єднати пружини від стержня, зв'язаного з двигуном. З'єднати два незалежні стержні пружинами у верхній частині стержнів.

2. Надіти на стержні два однакові тягарці, встановити їх на однаковій, заданій викладачем відстані в нижній частині стержнів.

3. Ввімкнути мережу.

4. Відхилити обидва маятники на однаковий кут ($5 \dots 6^\circ$) в один бік та відпустити, натиснувши "Скид".

5. Відлічити час Δt зменшення амплітуди коливань на $2 \dots 3^\circ$, натиснувши "Стоп". Записати масу тягарців, початкову A_1 та кінцеву A_2 амплітуди, положення тягарців, час Δt та число коливань N . Дослід повторити три рази. Знайти середній період T .

6. Замінити тягарці, встановивши їх на тій самій відстані та повторити дослід. Те ж саме проробити з тягарцями, які залишились.

7. За одержаними даними розрахувати коефіцієнт затухання та логарифмічний декремент затухання за формулами (1) та (2) і побудувати графіки їх залежності від маси тягарців.

8. Розрахувати коефіцієнт опору $r = 2\beta M$. Значення M знаходимо, складаючи масу стержнів та пружин. Маса стержнів та пружин записана на установці. Похибку для r розрахувати методом середнього значення.

II. ВИВЧЕННЯ ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ

Мета роботи: 1. Дослідно знайти амплітуди вимушених ко-

ливань від частоти коливань і визначити резонансну частоту.
2. Дослідно визначити залежність коефіцієнту затухання, частоти власних коливань та фази вимушених коливань від маси тягарців та положення пружин.

II.1. Вивчення явища резонансу та визначення частоти резонансних коливань

1. Під'єднати пружини до обойми, яка з'єднує маятники зі стержнями, викликати коливання. Два "вільні" стержні з'єднати між собою пружинами. Перевірити установку стержнів.

2. Розташувати на стержнях тягарці однакової маси на однаковій відстані від осі у нижній частині стержнів.

3. Ввімкнути кнопку "Мережа" та живлення двигуна. Повільно обертаючи ручку потенціометра "Частота коливань", перевірити, чи працює двигун та чи коливаються маятники. Регулюючи оберти двигуна, спостерігайте за коливаннями маятника деякий час. Коли маятники починають коливатися з амплітудою більшою 20° , відбувається явище резонансу.

4. Ввімкнути "Скид". Відміряти 20...30 коливань. Натиснути "Стоп". Записати час Δt , число коливань N і амплітуду. За форму-

лою $T = \frac{\Delta t}{N}$ обчислити період коливань.

5. Змінюючи "Частоту коливань" від мінімального значення до максимального через рівні інтервали, кожного разу визначати період коливань, вимірюючи час, за який відбувається 20...30 коливань та записуючи амплітуду коливань. Біля резонансу треба зменшити інтервали між вимірами.

6. Поміняти тягарці та повторити дослід.

7. Обчислити за одержаними даними частоту коливань та побудувати графіки залежності амплітуди коливань від частоти для всіх тягарців. За графіками визначити резонансні частоти.

Примітка:

1. Якщо з'являється биття, то слід брати максимальну амплітуду.
2. Після ввімкнення двигуна трохи почекати, поки коливання встановляться.
3. При проведенні досліду краще брати однакові тягарці.
4. Знімаючи резонансні криві для усіх тягарців, встановити їх на одній і тій же відстані від осі обертання.

II.2. Вивчення залежності резонансної частоти від довжини фізичного маятника

Система, яка складається із металевого стержня та тягарця на ньому, являє собою фізичний маятник.

Період коливань фізичного маятника визначається формулою

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mga}}, \text{ де } I - \text{момент інерції фізичного маятника; } M - \text{його}$$

маса; a – відстань від центра мас фізичного маятника до осі обертання; g – прискорення вільного падіння.

У даній роботі M та a можна змінювати, змінюючи масу тягарців та їх відстань від осі обертання. Період коливання можна обчислити, знайшовши час 20...50 коливань.

Методика виконання роботи

1. З'єднати стержні пружинами, встановивши їх у верхній частині стержнів. Ввімкнути кнопку "Мережа" та двигун.

2. Плавна переміщуючи головку "Частота коливань", досягти резонансу. Відхилення маятника при цьому повинно бути більше 20° . Після цього натиснути "Скид", відлічити 30...50 коливань та натиснути "Стоп". Записати час Δt , кількість коливань N та відстань від центру тягарців до осі обертання. За одержаними даними обчислити період коливань.

3. Перемістити тягарці в нове положення, повторити дослід. Таким чином, провести дослід для п'яти-семи положень тягарців на стержнях.

4. Побудувати графік залежності періоду резонансних коливань від відстані центра тягарців до осі обертання маятників. Зробити висновки.

II.3. Визначення частоти власних коливань маятника

Якщо коефіцієнт затухання дуже малий або дорівнює нулю, то резонанс настає при частоті, яка дорівнює частоті власних коливань системи.

У даній дослідній установці коефіцієнт затухання можна змінювати, змінюючи тягарці на стержнях та розташування пружин, що їх зв'язують.

Методика виконання роботи

1. Встановити тягарці однієї маси на однаковій відстані від осі в нижній частині стержнів.

2. Під'єднати до стержнів обидві пари пружин у верхній частині стержнів.

3. Відхилити обидва тягарці в один бік на однаковий кут $5...6^\circ$.

4. Включити "Скид" та визначити час зменшення амплітуди на $2...3^\circ$. Дослід повторити три рази. Записати величину амплітуди (початкової та кінцевої), час коливання та число коливань. Обчислити період коливання, коефіцієнт затухання β та логарифмічний декремент затухання λ за формулами (1) та (2).

5. Не змінюючи розташування тягарців та пружин, включити двигун та, повільно вводячи повзунок "Кількість коливань", досягти резонансу. (При резонансі амплітуда коливань повинна бути більшою за 20°).

6. Натиснути "Скид", визначити час $30...50$ коливань, після чого натиснути "Стоп". Записати час та число коливань. Дослід повторити три рази для різних тягарців та їх положення.

7. Обчислити за одержаними даними період та циклічну частоту коливань:

$$T = \frac{\Delta t}{N}; \quad \omega_{\text{рез}} = 2\pi \frac{N}{\Delta t}.$$

8. Знайти за допомогою формули $\omega_{\text{рез}} = \sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}$ частоту власних коливань ω_0 .

9. Обчислити за формулою $\text{tg}\alpha = \frac{\sqrt{\omega_0^2 - 2\beta^2}}{\beta}$ фазу вимушених коливань α .

10. Виконати дослід для різних тягарців та різних значень відстані пружин від осі обертання, заданих викладачем.

11. Порівняти одержані результати та зробити висновки.

III. ВИВЧЕННЯ БИТТЯ

Мета роботи: вивчення явища биття.

Биття спостерігається при додаванні двох коливань одного напрямку із близькими періодами. Це явище можна спостерігати при коливанні зв'язаних систем.

Методика виконання роботи

1. Від'єднати пружини від обойми, яка з'єднує маятники із стержнем, збуджуючим коливання.

2. Встановити довільні параметри маятників, розміщуючи тягарі на різній висоті.

3. Відхилити один з маятників на довільний кут та відпустити.

4. Спостерігати за коливаннями, які відбуваються.

5. Ввімкнути кнопку "Мережа" та натиснути "Скид".

6. Підрахувати 20...30 коливань кожного тягарця окремо і натиснути "Стоп". Записати час та число коливань та обчислити період коливань. Повторити дослід для другого тягарця (секундомір взяти у лаборанта).

7. Повторити дослід (пп. 3 і 5), визначаючи час 5...10 найбільших значень амплітуд за допомогою секундоміра. Обчислити період биття амплітуди.

8. Виконати дослід для різних тягарців та різних їх положень на стержнях.

9. Порівняти одержані дані періодів та амплітуд для різних мас та відстаней, зводячи їх у таблицю. Зробити висновки, проаналізувати результати.

Примітка. Для спостереження явища биття краще брати тягарці різної маси.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Білий М. У., Скубенко А. Ф. Загальна фізика. – К.: Вища школа, 1987.
2. Бушок Г. Ф., Півень Г. Ф. Курс фізики. – К.: Вища школа, 1981.
3. Детлаф А. А., Яворський Б. М. Курс фізики. – М.: Высшая школа, 1989.
4. Детлаф А. А., Яворський Б. М. Справочник по фізице. – М.: Высшая школа, 1985.
5. Загальна фізика. Лабораторний практикум / В. М. Барановський, П. В. Бережний, І. Т. Горбачук та ін.; За ред. І. Т. Горбачука. – К.: Вища школа, 1992.
6. Зисман Г. А., Тодес Л. М. Курс общей физики. – М.: Наука, 1972–1974. – Т. 1.
7. Кучерук В. М., Горбачук І. Т., Луцик П. П. Загальний курс фізики. Т. 1. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка / За ред. проф. І. М. Кучерука. – К.: Техніка, 1999.
8. Савельев І. В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1987. – Т. 1, 2.
9. Савельев І. В. Курс общей физики. – М.: Наука, 1988. – Т. 2.
10. Трофимова Т. И. Курс физики. – М.: Высшая школа, 1990.
11. Физический практикум "Механика и молекулярная физика" / Под ред. В. Н. Ивероновой. – М.: Физматгиз, 1967.
12. Фриш С. Э., Тиморева А. В. Курс физики. – М.: Физматгиз, 1962. – Т. 1.
13. Хайкин С. Э. Физические основы механики. – М.: Наука, 1971.

Додаток

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

К-1

1. Що називається фігурами Ліссажу?
2. Який прилад у роботі є джерелом коливань?
3. Який прилад використовується в роботі для візуального спостереження фігур Ліссажу?
4. Які фігури утворюються при накладанні двох взаємно перпендикулярних коливань з однаковими частотами?
5. Чому одному і тому самому відношенню частот відповідає ряд фігур?
6. Яке співвідношення амплітуд дає в результаті накладання коливань фігуру Ліссажу у формі кола?
7. Який вигляд має рівняння електричних коливань, що прийшли на вертикально відхиляючі пластини осцилографа від мікрофона?
8. При якій зміні різниці фаз складових коливань відновлюється положення та вигляд фігури Ліссажу?
9. Яка розрахункова формула використовується в даній лабораторній роботі?
10. Яким способом розраховується похибка в даній роботі?

К-2

1. Які будова і принцип дії електронно-променевої трубки?
2. Які основні блоки осцилографа та яке їх призначення?
3. Який принцип роботи генератора розгортки?
4. Що таке синхронізація розгортки?
5. Що таке шпаруватість імпульсу?
6. Яке призначення має звуковий генератор в даній роботі?
7. Якою речовиною покривається екран електронно-променевої трубки?
8. Що таке пилкоподібна напруга?
9. Поясніть призначення відхиляючих пластин в осцилографі.

К-3

1. Які коливання називають затухаючими?
2. Які величини називають параметрами коливальної системи?

3. Що таке коефіцієнт затухання коливань?
4. Сформулювати закон зміни амплітуди у випадку затухаючого коливання.
5. Дати визначення логарифмічного декременту затухання коливань і добротності, пояснити їх фізичний зміст.
6. Що називається частотою, періодом коливань і в яких одиницях вони вимірюються?
7. Як визначити в роботі період для маятника і камертона?
8. Якими методами визначається похибка вимірювання періоду коливань, а також коефіцієнта та логарифмічного декременту затухання механічних коливань в даній роботі?

К-4

1. Які коливання називаються крутильними?
2. Які величини визначають циклічну частоту крутильних коливань?
3. Чому дорівнює момент інерції тіла?
4. Як визначити період крутильних коливань?
5. Що називається періодом крутильних коливань?
6. Записати основний закон динаміки обертового руху.
7. Що називається модулем кручення?
8. Яка розмірність моменту інерції тіла?

К-5

1. Від чого залежить величина обертового моменту, діючого на лінійний магніт, розташований в однорідному магнітному полі?
2. Як розташується лінійний магніт відносно до зовнішнього магнітного поля?
3. Що називається магнітним моментом магніту?
4. Сформулювати основне рівняння динаміки обертового руху.
5. Що означає "мінус" у формулі (2)?
6. Чому при установці бусолі магніт необхідно віддалити на значну відстань?
7. Як визначити період коливань лінійного магніту?
8. Як знайти величину моменту інерції лінійного магніту?

К-6

1. Із яких елементів складається коливальний контур у даній роботі?

2. Що являють собою коливання, виникаючі у коливальному контурі?
3. В яких координатах будується графік?
4. Яку форму мають резонансні криві?
5. При якій умові настає резонанс?
6. Резонанс чого досліджується у даній роботі?
7. Що таке клас точності електровимірювального приладу?
8. Як побудувати поле похибок у даній роботі?
9. Яким шляхом у даній роботі досягається резонанс?
10. При якій умові можливий резонанс струмів?

К-7

1. У чому полягає явище поляризації діелектрика?
2. Які види діелектриків знаєте?
3. Що називається відносною діелектричною проникністю?
4. Яка розмірність відносної діелектричної проникності?
5. Яким методом визначається діелектрична проникність діелектрика у даній роботі?
6. Що являє собою коливальний контур?
7. При якій умові виникає електричний резонанс напруг?
8. Який аналітичний вираз умови резонансу напруг?
9. Для чого до схеми включений звуковий генератор?
10. Як виводиться формула для визначення C в даній роботі?

К-8

1. Чим відрізняються затухаючі коливання від незатухаючих?
2. Що характеризує коефіцієнт затухання?
3. Який фізичний зміст логарифмічного декременту затухання?
4. На що витрачається енергія електричного поля в коливальному контурі?
5. Які взаємоперетворення енергії відбуваються в коливальному контурі?
6. Які коливання відбуваються в коливальному контурі, якщо опір $R = 0$?
7. Що відбудеться, якщо в коливальному контурі не буде індуктивності L ?
8. Як визначається період затухаючих коливань T ?

К-9

1. Яким чином виникають стоячі звукові хвилі в трубі?

2. Що таке пучність та вузол стоячої хвилі?
3. Записати формулу, за якою обчислюється швидкість звуку в роботі.
4. Як визначається довжина хвилі звуку?
5. Як виникає резонанс у повітряному стовпчику труби?
6. Чим визначаються частоти основного тону, першого, другого і т.д. обертона труби, яка звучить?
7. Для чого осцилограф у даній роботі?
8. Що утворюється на поверхні мембрани динаміка, яка коливається (пучність чи вузол, зміщення чи тиск)?
9. Як обчислити похибку визначення швидкості звуку?

К-10

1. Що таке затухаючі коливання?
2. Як змінюється амплітуда затухаючих коливань?
3. Що таке коефіцієнт затухання?
4. Що називають логарифмічним декрементом затухання?
5. Від чого залежить амплітуда резонансних коливань?
6. Чому дорівнює частота власних коливань?

Зміст

<i>Лабораторна робота К-1.</i>	Визначення швидкості звуку в повітрі методом фігур Ліссажу	3
<i>Лабораторна робота К-2.</i>	Дослідження періодичних та імпульсних процесів за допомогою осцилографа	6
<i>Лабораторна робота К-3.</i>	Визначення логарифмічного декременту та коефіцієнта затухання механічних коливань.....	13
<i>Лабораторна робота К-4.</i>	Визначення моменту інерції тіла методом крутильних коливань	17
<i>Лабораторна робота К-5.</i>	Знаходження величини магнітного моменту лінійного магніту за методом Гаусса	19
<i>Лабораторна робота К-6.</i>	Вивчення електричного резонансу	24
<i>Лабораторна робота К-7.</i>	Визначення діелектричної проникності діелектриків методом електричного резонансу	28
<i>Лабораторна робота К-8.</i>	Вивчення затухаючих гармонічних електричних коливань	32
<i>Лабораторна робота К-9.</i>	Визначення швидкості звуку в повітрі методом акустичного резонансу	35
<i>Лабораторна робота К-10.</i>	Дослідження механічних коливань зв'язаних систем	37
Рекомендована література		44
Додаток		45

КОЛИВАННЯ ТА ХВИЛІ

Під ред. О.О.Мочалова, О.О. Таранчука

Методичні вказівки

Видавництво УДМТУ, 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру
видавців, виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції
ДК № 1150 від 12.12.2002 р.

Редактор Н.І. Нікуліна
Комп'ютерна правка А.Й. Тріщ
Комп'ютерна верстка А.Й. Тріщ
Коректор Н.О. Шайкіна

Підписано до друку 13.01.03. Формат 60×84/16. Папір офсетний.

Ум. друк. арк. 2,8. Обл.-вид. арк. 3,0. Тираж 500 прим.

Вид. № 28. Зам. № 276. Ціна договірна.



ВИДАВНИЦТВО УКРАЇНСЬКОГО ДЕРЖАВНОГО МОРСЬКОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ



Шановні панове!

Запрошуємо Вас ознайомитись з можливостями книжкового видавництва, висококваліфіковані спеціалісти якого забезпечать оперативне та якісне виконання замовлення будь-якого рівня складності.

Наш головний принцип – задовольнити потреби замовника в повному комплексі поліграфічних послуг, починаючи з розробки та підготовки оригіналу-макета, що виконується на базі IBM PC, і закінчуючи друком на офсетних машинах.

Крім цього, ми маємо повний комплекс післядрукарського обладнання, що дає можливість виконувати:

- ✓ аркушепідбір;
- ✓ брошурування на скобу, клей;
- ✓ порізки на гільйотинах;
- ✓ ламінування.

Видавництво також оснащено сучасним цифровим дублюатором фірми "Duplo" формату А3, що дає можливість тиражувати зі швидкістю до 130 копій за хвилину.

Для постійних клієнтів – гнучка система знижок.

Отже, якщо вам потрібно надрукувати **підручники, книги, брошури, журнали, каталоги, рекламні листівки, прайс-листи, бланки, візитні картки**, – ми до Ваших послуг.

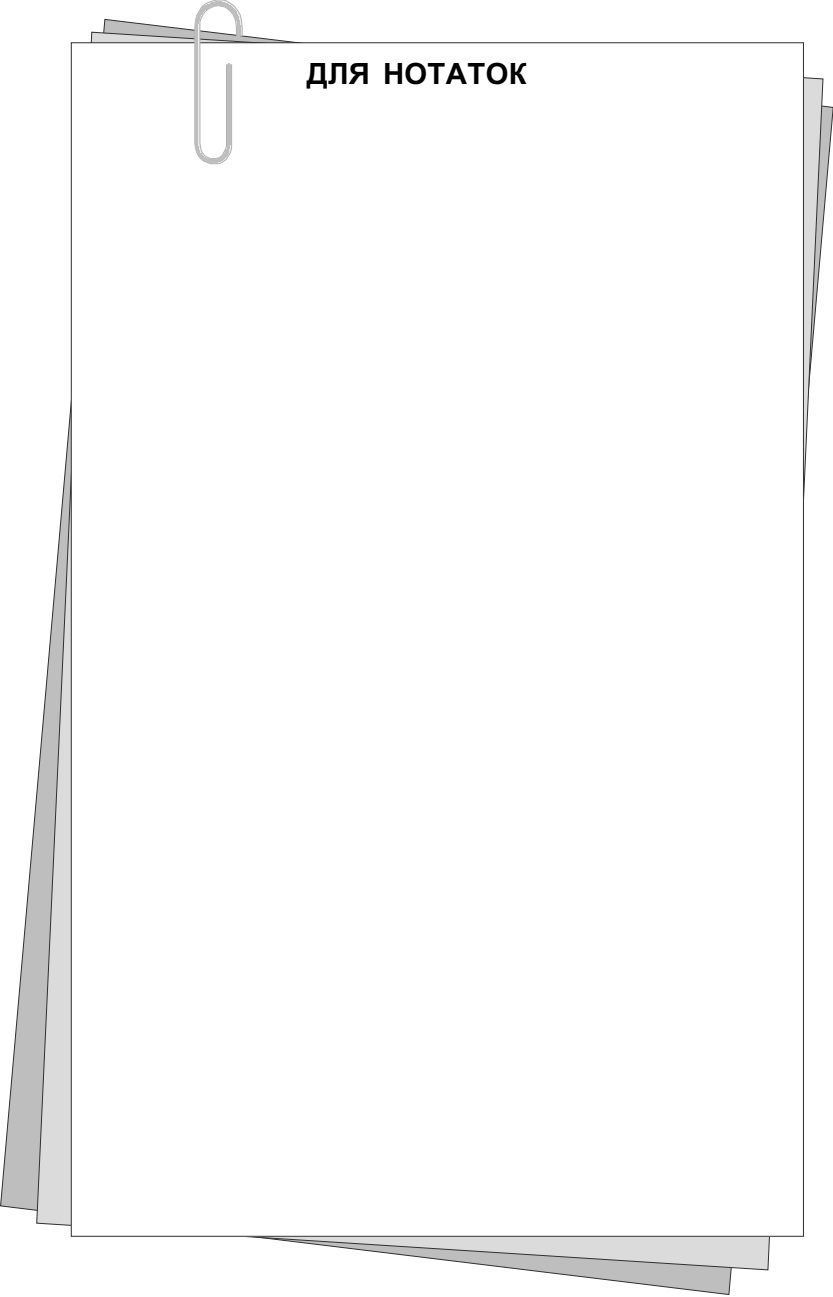
© Український державний морський технічний університет

✉ Україна, 54002, м. Миколаїв, вул. Скороходова, 5,

видавництво УДМТУ

☎ 8(0512) 37-33-42; 39-81-46, 39-73-39, fax 8(0512) 39-73-26;

E-mail: publishing@usmtu.edu.ua



ДЛЯ НОТАТОК