

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФІЗИКА
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З РОЗДІЛУ „ЕЛЕКТРОДИНАМІКА”
Частина II

Дніпропетровськ
2010

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра фізики

**ФІЗИКА.
МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ
З РОЗДІЛУ „ЕЛЕКТРОДИНАМІКА”
Частина II**

для студентів усіх спеціальностей

Дніпропетровськ
НГУ
2010

Електродинаміка. Частина II. Матеріали методичного забезпечення дисципліни «Фізика» для студентів усіх спеціальностей. / Л.І. Барташевська, А.С. Зайцев, В.М. Мандрикевич, Т.В. Морозова, А.В.Чернай, – Д.: Національний гірничий університет, 2010.– 58 с.

Автори:

Л.І. Барташевська, А.С. Зайцев, кандидати фіз.-мат. наук;

В.М. Мандрикевич, Т.В. Морозова, старші викладачі;

А.В. Чернай, д-р фіз.-мат. наук, професор.

Усі укладачі приймали участь в розробці методичних вказівок до лабораторних робіт та удосконаленні їх макетів.

Затверджено до видання редакційною радою НГУ (протокол № від) за наказом методичної комісії напряму підготовки 6.050301 Гірництво (протокол №_від_200 р.)

Методичні матеріали призначені для самостійної підготовки студентів усіх інженерних спеціальностей до лабораторних робіт та контролю практичних і лабораторних занять з нормативної дисципліни «Фізика».

Розглянуто теоретичні відомості, прилади та установки, що використовуються у лабораторних роботах.

Рекомендації орієнтовано на активацію навчальної діяльності студентів.

Відповідальний за випуск завідувач кафедру фізики, канд.фіз.-мат., наук, проф. І.П. Гаркуша.

Лабораторна робота 27.1

ВИМІРЮВАННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ОСЦИЛОГРАФА

Прилади та обладнання: 1) електронний осцилограф (РО); 2) генератор електромагнітних коливань звукової частоти (РQ); 3) джерело живлення (ДЖ).

Мета роботи: 1) ознайомлення з функціональною схемою і принципом роботи електронного осцилографа, 2) дослідження гармонійних коливань та принципа суперпозиції.

Опис приладу та теоретичні відомості

Осцилограф (від латинського *oscilo* – коливаюсь і грецького *grapho* – пишу) – вимірювальний прилад, який використовують для візуального спостереження сигналів, дослідження їх форми, вимірювання основних параметрів сигналів: амплітуди, частоти, фазових зсувів та ін.

Найпоширенішими сигналами є електричні (струм або напруга), які змінюються за часом.

В електронних осцилографах сигнал зображується за допомогою сфокусованого електронного променя, який збуджує світіння люмінофора електронно-променевої трубки.

Функціональна схема осцилографа має такі основні блоки: базовий блок, до складу якого входить електронно-променева трубка (ЕПТ), схема керування променем (яскравість, фокус, зсув зображення по вертикалі і горизонталі), блок живлення; блок підсилення вертикального відхилення променя; блок розгортки, в складі якого є генератор розгортки та підсилювач горизонтального відхилення променя.

В осцилографі передбачена можливість подачі зовнішньої напруги безпосередньо на вихід підсилювача горизонтального відхилення променя. При цьому підсилювач горизонтального відхилення відключають від генератора розгортки і сигнал подають на вхід «Х».

Принцип дії осцилографа оснований на використанні властивостей електронно-променевої трубки, яка зображена на рис.1.

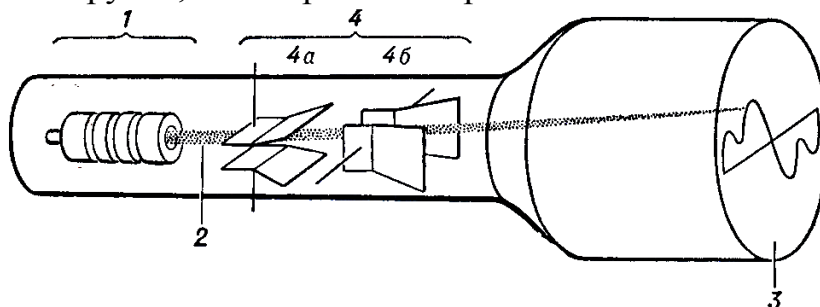


Рис. 1

Основними елементами ЕПТ є поміщені у вакуумну оболонку: а) електронний прожектор 1, який формує вузький пучок електронів 2; б) люмінесцентний екран 3, який світиться під впливом електронного пучка; в) електростатична система 4, яка відхиляє пучок у двох взаємно перпендикулярних напрямках. Відхиляюча система утворюється двома ортогонально розташованими парами пластин 4а і 4б, кожна з яких після подачі на них напруги створює електричне поле, поперечне до осі трубки.

Відхилення електронного пучка по вертикалі відбувається під дією змінної напруги досліджуваного сигналу, яка підводиться до пластин 4а. Їх називають Y пластинами. На екрані буде прокреслена вертикальна світна лінія.

Якщо подати змінну напругу на пластини 4б (відповідно їх називають X пластинами, а змінну напругу – розгорткою), то на екрані буде прокреслена горизонтальна світна лінія.

Для того щоб на екрані осцилографа можна було спостерігати, як у якомусь фізичному процесі величина y змінюється залежно від зміни другої фізичної величини x ($y = f(x)$), необхідно подати змінні напруги одночасно на обидві пари пластин. В експерименті часто доводиться вимірювати фізичні величини, які змінюються за часом – $y = f(t)$. При цьому на пластини Y необхідно подати напругу U_y , яка пропорційна вимірюваній величині, а на горизонтально відхилювальні пластини – напругу U_x , яка змінюється за часом лінійно. Це необхідно для того, щоб світна точка по горизонталі переміщувалася пропорційно часу, тобто зі сталою швидкістю. Тому в складі осцилографа обов'язково є генератор розгортки, що виробляє напругу, яка змінюється так, як зображено на рис. 2. Таку напругу називають пілкоподібною.

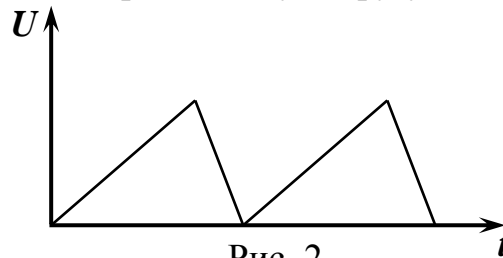


Рис. 2

Якщо розгортальна напруга (розгортка) буде синусоїдною, то на екрані осцилографа можна спостерігати фігури Ліссажу, які не відтворюють безпосередньо форму кривої досліджуваного сигналу. Використовуючи такі фігури, можна визначити частотні, фазові або амплітудні співвідношення напруг, що підведені до відхилювальних пластин ЕПТ. Напругу на відхилювальні пластини подають через підсилювачі. Характеристики підсилювачів відхилювальних пластин багато в чому визначають можливості осцилографа.

Послідовність вимірювань

У лабораторній роботі вимірюють: амплітуди (завдання 1), частоти гармонійних коливань (завдання 2), а також спостерігають за складанням гармонійних коливань одного напрямку (завдання 3) і фігури Ліссажу, які є результатом складання двох гармонійних коливань, що відбуваються у взаємно перпендикулярних напрямках (завдання 4).

Дослідження синусоїдного сигналу

Завдання 1 і 2. Вимірювання амплітуди та частоти гармонічних коливань

1. Зберіть схему, зображену на рис. 3.
2. Увімкніть осцилограф і генератор електромагнітних коливань звукової частоти (ЗГ). На екрані осцилографа отримайте стійку картину сигналу (ЗГ).

3. Визначить період T і частоту $\nu = \frac{1}{T}$ декількох синусоїдних сигналів, виходячи з того, що період сигналу є добутком трьох величин: розміру координати по осі X (см), тривалості розгортки та множника тривалості.

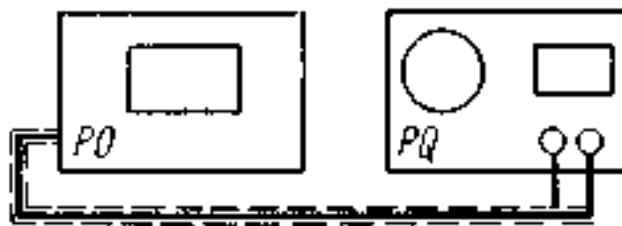


Рис.3

4. За визначеним періодом сигналу розрахуйте його частоту й порівняйте отриманий результат з частотою, що знайдена за шкалою частот звукового генератора.

Результати вимірювань занесіть у табл. 1.

Таблиця 1

| № з/п | Період коливаний, поділка | Тривалість розгортки, поділка/см | Множник | Період коливаний, с | Частота коливаний, Гц | Частота коливаний ЗГ, Гц |
|-------|---------------------------|----------------------------------|---------|---------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |

5. Установіть за допомогою перемикача V/cm і множника синусоїду в межах робочої частини екрана.
6. Розрахуйте амплітуду сигналу у вольтах. Амплітуда у вольтах є добутком трьох величин: розміру координати по осі Y (см), коефіцієнта підсилення по осі Y і множника (для зручності вимірювання амплітуди сигналу можна убрати розгортку).
7. Визначте діюче значення вихідного сигналу U_d звукового генератора за допомогою вольтметра, який розташований на його головній панелі, і розрахуйте амплітуду сигналу за формулою $U_a = U_d \sqrt{2}$. Порівняйте одержаний результат з результатом виміру амплітуди сигналу на екрані осцилографа.
8. Вимірювання, зазначені в пп. 5 – 7, треба повторити декілька разів і результати записати у табл. 2.

Таблиця 2

| № з/п | Амплітуда сигналу, поділка | Коефіцієнт підсилення по осі Y , В/см | Множник | Амплітуда сигналу, В | Діюче значення напруги, В |
|-------|----------------------------|---|---------|----------------------|---------------------------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |
| 5 | | | | | |

Завдання 3. Складання гармонічних коливань

Колівальна система може одночасно виконувати декілька коливань. Окремі коливання при цьому складаються в результуюче коливання. Ґрунтується складання коливань на принципі суперпозиції. Цей принцип є наслідком лінійності рівнянь руху, які описують гармонічні коливання.

Треба відрізнити складання коливань, які здійснюються в одному напрямку, і складання коливань, які відбуваються у взаємно перпендикулярних напрямках.

Якщо два коливання відбуваються в одному напрямку і з однаковими частотами, а рівняння коливань мають вигляд

$$x_1 = A_1 \cos(\omega t + \varphi_1) \quad \text{і} \quad x_2 = A_2 \cos(\omega t + \varphi_2),$$

то результуюче коливання буде відбуватися у тому самому напрямку і з тією ж частотою та буде мати вигляд

$$x = A \cos(\omega t + \varphi),$$

де A – амплітуда результуючого коливання.

Амплітуду A та початкову фазу φ результуючого коливання можна визначити за допомогою векторної діаграми, тобто

$$A = \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1)}. \quad (3)$$

Із рівняння (3) випливає, що коли різниця фаз $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ дорівнює нулю, то $A = A_1 + A_2$, а якщо $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \pi$, то $A = A_1 - A_2$. У першому випадку здійснюється складання синфазних коливань, у другому – протифазних.

При складанні двох гармонічних коливань одного напрямку з різними частотами ω_1 і ω_2 виникає негармонічне коливання.

Якщо частоти гармонічних коливань одного напрямку мало відрізняються одна від одної ($\omega_2 = \omega_1 + \Delta\omega$, а $\Delta\omega \ll \omega_1$), то при складанні таких коливань одержимо коливання з амплітудою, яка періодично змінюється. Такі коливання мають назву биття (рис. 4).

При припущенні, що $A_1 = A_2 = A$ і $\varphi_1 = \varphi_2$, зміщення x результуючого коливання визначається за такою формулою:

$$x = \left(2A \cos \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \right) \cos \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t. \quad (4)$$

Коливання (4) можна розглядати як гармонічне з амплітудою биття

$$A_{\delta} = 2A \cos \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t. \quad (5)$$

Період биття – це проміжок між сусідніми моментами часу, в які амплітуда дорівнює нулю. Період биття визначається так

$$T_{\delta} = \frac{2\pi}{\omega_1 - \omega_2}. \quad (6)$$

Частота биття

$$\nu_{\delta} = \nu_1 - \nu_2. \quad (7)$$

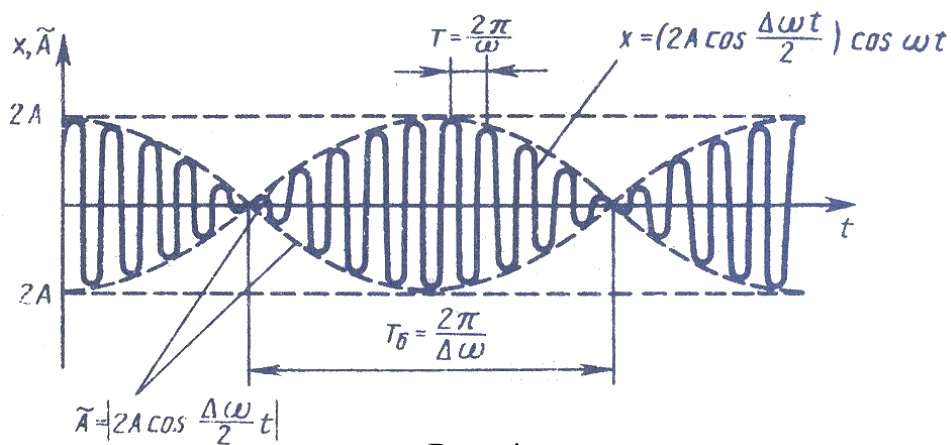


Рис. 4

Якщо тіло здійснює гармонічні коливання з однаковими частотами, що відбуваються у двох взаємно перпендикулярних напрямках уздовж x і y , рівняння яких мають вигляд

$$x = A_1 \cos \omega t \quad \text{і} \quad y = A_2 \cos \omega t, \quad (10)$$

тоді рівняння результуючого коливання можна отримати, якщо з рівнянь (10) виключити час, тобто

$$\frac{x}{y} = \frac{A_1}{A_2}, \quad y = \frac{A_2}{A_1} x. \quad (11)$$

Таким чином, тіло, яке здійснює коливання у двох взаємно перпендикулярних напрямках і зі зсувом фаз між ними, що дорівнює нулю, буде коливатися вздовж відрізка прямої, яка лежить у I і III чвертях (рис. 5).

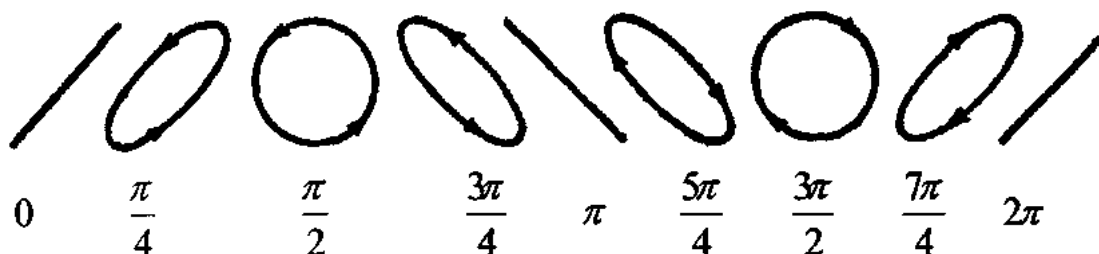


Рис. 5

Якщо зсув фаз коливань дорівнює π , то траєкторія результуючого коливання буде відрізком прямої, яка лежить у II і IV чвертях.

Вигляд фігур Ліссажу (замкнених траєкторій, що описує точка, яка бере одночасно участь у двох взаємно перпендикулярних коливаннях) наведений на рис. 6.

Послідовність вимірювань

1. Зберіть схему, яка зображена на рис. 7.
2. Перемикач "РАЗВЕРТКА" встановіть у положення "ВНЕШ". При цьому на вхід підсилювача горизонтального відхилення буде подана змінна напруга, частота якої 50 Гц.
3. Змінюючи частоту генератора, отримайте на екрані стійке зображення фігури. Визначте число точок перетину кривої з осями $X - n_x$ та $Y - n_y$. Якщо вісь проходить через точку перетину гілок кривої, то кількість перетинів

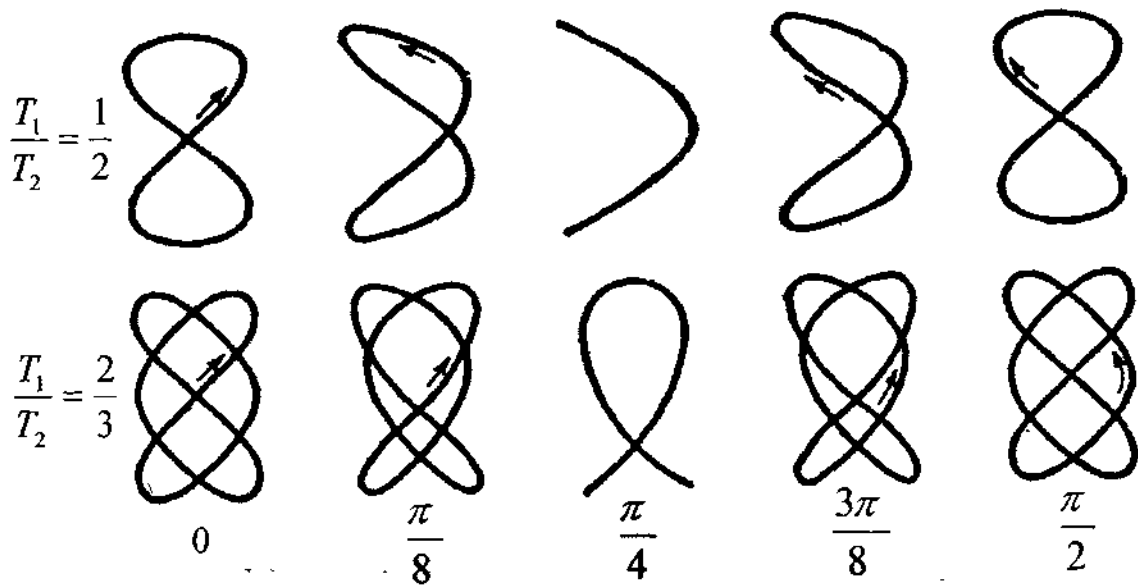


Рис. 6

у цьому випадку рахують двічі.
За формулою

$$v_y = \frac{n_x}{n_y} v_x$$

розрахуйте частоту v_y і порівняйте отриманий результат з показаннями генератора.

4. Отримайте фігури Ліссажу при співвідношенні частот 2:1, 1:1, 1:2, 1:3 та ін.

Результати вимірювань та рисунки фігур Ліссажу занесіть у табл. 3.

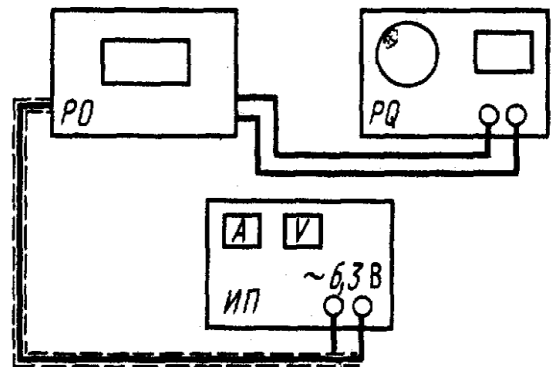


Рис. 7

Таблиця 3.

| № | n_x | n_y | v_x | v_y | v (генератора НЧ) | Фігури Ліссажу |
|---|-------|-------|-------|-------|---------------------|----------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |

Контрольні питання

1. Яке призначення має осцилограф?
2. На який вхід осцилографа подають сигнал, що треба дослідити?
3. Як підготувити осцилограф до роботи?
4. Як вимірюють амплітуду та тривалість сигналу?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. с. 204 – 211.

Лабораторна робота 27.2

ВИВЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ СЕГНЕТОЕЛЕКТРИКІВ

Прилади та обладнання: 1) касета ФПЕ-02; 2) джерело живлення; 3) електронний осцилограф.

Мета роботи: використання отриманої на екрані осцилографа максимальної петлі гістерезиса сегнетоелектрика та окремих циклів для визначення: 1) залежності діелектричної проникності сегнетоелектрика від напруженості електричного поля E ; 2) коерцитивної сили E_c ; 3) залишкової індукції D ; 4) тангенса кута діелектричних втрат.

Опис приладу та теоретичні відомості

Для описання електричного поля в діелектриках, крім основної характеристики поля – вектора напруженості електричного поля \vec{E} , використовують вектор електричного зміщення (вектор електростатичної індукції) \vec{D} . Він не є чисто польовим вектором, оскільки враховує поляризованість середовища. Зв'язок між ними можна відобразити залежністю

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E},$$

де ε – діелектрична проникність середовища.

Сегнетоелектрики – це кристали, які у визначеному температурному інтервалі спонтанно (самочинно, тобто при відсутності зовнішнього електричного поля) електрично поляризовані. Таку назву вони отримали по першій досліджуваній речовині – сегнетовій солі.

Сегнетоелектрики мають деякі своєрідні особливості.

1. Діелектрична проникність сегнетоелектриків надзвичайно велика ($\varepsilon \sim 10^4$), тоді як у більшості звичайних діелектриків діелектрична проникність складає кілька одиниць.

2. Діелектрична проникність сегнетоелектриків залежить від напруженості електричного поля.

3. Через те, що ε залежить від E , то D нелінійно залежить від E . Сегнетоелектрикам властивий сегнетоелектричний гістерезис (відставання, запізнення), який виникає при переорієнтації напрямку зовнішнього поля. Як видно з рис.1, зі збільшенням напруженості E зовнішнього електричного поля зміщення D зростає і досягає насичення (у точці A). Якщо потім напруженість зовнішнього поля зменшувати і довести до нуля, D , зменшуючись, досягне значення $D_{зал}$ (залишкове зміщення). І тільки при накладенні певного поля зворотного напрямку ($-E_k$) зміщення зникає повністю. Величину E_k називають коерцитивною силою. При подальшому збільшенні

від'ємного значення E знову досягається насичення (точка M). Наступній зміні E відповідає ділянка MFA . Залежність D від E при замкненому циклі переорієнтації зовнішнього поля називають петлею гістерезису (крива $ABCMFA$). Пунктиром на рисунку показаний окремий цикл, коли насичення не досягається. Окремих циклів може бути безліч, при цьому максимальні значення D завжди знаходиться на основній кривій OA .

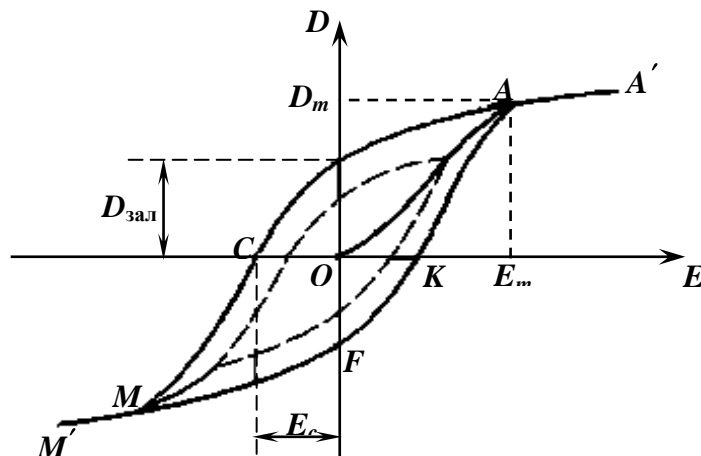


Рис. 1

4. При підвищенні температури вище за певне значення T_K , характерне для кожного сегнетоелектрика, його сегнетоелектричні властивості зникають і він перетворюється у звичайний полярний діелектрик. Точку фазового переходу із стану сегнетоелектрика в стан полярного діелектрика називають точкою Кюрі, а відповідну їй температуру – температурою Кюрі T_K .

Спонтанна поляризація є джерелом значних електричних полів. Тому, якщо макроскопічний об'єм сегнетоелектрика спонтанно є поляризованим у якомусь напрямку, то навколо цього об'єму виникає дуже значне електричне поле, з яким зв'язана велика енергія поля.

Такий стан – енергетично не вигідний. Система намагається перейти у такий стан, щоб, з одного боку, існувала спонтанна поляризація, а з іншого – енергія поля була б мінімальною. Це може здійснитися у результаті поділення об'єму сегнетоелектрика на малі області, у кожній з яких існує спонтанна поляризація у деякому визначеному напрямку, неоднаковому для різних областей. Середня поляризованість об'єму, який складається з достатнього числа малих областей з різними напрямками спонтанної поляризації, дорівнює нулю, і тому напруженість зовнішнього електричного поля, яке створюється цим об'ємом, близька до нуля. Малі області зі спонтанною поляризацією називаються діелектричними доменами або просто доменами. Процес зміни поляризованості сегнетоелектрика у зовнішньому електричному полі полягає у переорієнтації дипольних моментів окремих доменів, у зміні об'ємів і переміщенні границь між доменами.

Усі сегнетоелектрики, які знаходяться в електричному полі, що змінюється, мають діелектричні втрати. Такими втратами називають ту частину енергії змінного електричного поля, яка перетворюється в тепло. Діелектричні втрати в сегнетоелектриках зумовлені процесом переполіризації (переорієнтації доме-

нів), тобто переходом кристала із стану, який характеризується точкою A (рис.1), в стан, який характеризується точкою M . Інакше кажучи, діелектричні втрати в сегнетоелектриках зумовлені гістерезисом. Втрати енергії змінного поля в сегнетоелектриках оцінюють тангенсом діелектричних втрат, тобто

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{\omega_{\text{period}}}{\omega_{\text{max}}}, \quad (1)$$

де ω_{period} – втрати енергії змінного діелектричного поля на гістерезис в одиниці об'єму сегнетоелектрика за період;

ω_{max} – максимальна густина енергії електричного поля у кристалі сегнетоелектрика.

Об'ємна густина енергії електричного поля

$$\omega = \frac{\varepsilon_0 E^2}{2} = \frac{ED}{2}. \quad (2)$$

При збільшенні напруженості поля на величину dE об'ємна густина енергії також зміниться на величину

$$d\omega = Ed(\varepsilon_0 E) = EdD. \quad (3)$$

За період зміни електричного поля втрата енергії

$$\omega = \oint EdD, \quad (4)$$

що чисельно збігається з площею петлі гістерезису в координатах X і Y .

Максимальна густина енергії електричного поля у кристалі

$$\omega_{\text{max}} = \frac{E_m D_m}{2}, \quad (5)$$

де E_m і D_m – максимальні значення напруженості електричного поля \vec{A} і вектора \vec{D} .

З урахуванням формул (1), (4) і (5) для тангенса діелектричних втрат отримаємо такий вираз:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{2 \oint EdD}{E_m D_m} = 2 \frac{S_f}{x_m y_m}, \quad (6)$$

де S_f – площа петлі гістерезису в координатах X , Y ; x_m , y_m – координати вершин петлі гістерезису.

Щоб отримати петлю сегнетоелектричного гістерезису ($D = f(E)$) на екрані осцилографа, треба на вертикально відхилювальні пластини подати напругу U_y , пропорційну модулю вектора електричного зміщення (вектору індукції) \vec{D} ($U_y \sim D$), а на горизонтально відхилювальні – напругу U_x , пропорційну напруженості поля \vec{A} ($U_x \sim E$).

Принципова схема експериментальної установки наведена на рис.2.

До двох послідовно з'єднаних конденсаторів C_0 і C приєднано джерело змінної напруги.

Між пластинами конденсатора C знаходиться досліджуваний сегнетоелектрик.

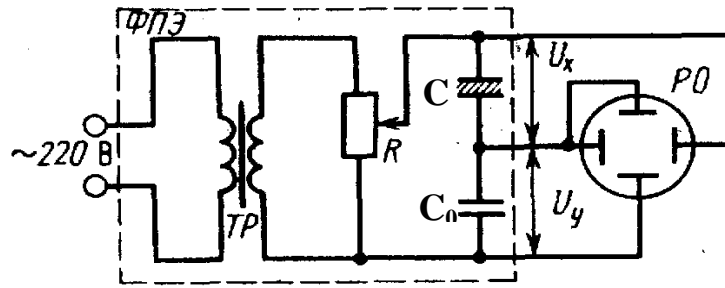


Рис.2

Індукція електростатичного поля (зміщення) D усередині сегнетоелектрика дорівнює поверхневій густині σ зарядів на пластинах конденсатора: $D = \sigma$.

Але $\sigma = \frac{q}{S}$, де S – площа пластин конденсатора C ; q – заряд однієї з пластин цього конденсатора. Тоді $D = \frac{q}{S}$. Оскільки конденсатори C і C_0 з'єднані послідовно, то заряди їх однакові. Тому напруга на конденсаторі C_0

$$U_{C_0} = \frac{q}{C_0} = \frac{DS}{C_0}.$$

Напруга на конденсаторі C_0 , яка подається на вертикально відхилювальні пластини осцилографа, пропорційна вектору зміщення \vec{D} .

$$U_y = U_{C_0} = \frac{DS}{C_0}, \quad (7)$$

де $C_0 = 0,22 \cdot 10^{-6} \text{ Ф}$; $S = 1,3 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$.

Таким чином, напруга, яка подається на вхід Y осцилографа, пропорційна вектору електричного зміщення (вектору індукції) \vec{D} електричного поля.

Відхилення електронного променя по вертикалі пропорційне напрузі U_y , яка подається на вхід Y осцилографа.

$$y = \frac{U_y}{b_2}, \quad (8)$$

де b_2 – чутливість осцилографа по вертикальній осі.

Із співвідношень (7) і (8) отримаємо, що

$$D = \frac{C_0 b_2}{S} y. \quad (9)$$

Тепер переконаємося, що напруга, яка створюється конденсатором C , пропорційна напруженості поля E . У таких схемах вимірювань (рис.2) ємність конденсатора C значно менша ємності конденсатора C_0 . Через те що опір конденсатора змінному струму обернено пропорційний ємності ($R_c = \frac{1}{\omega \cdot C}$), то практично вся напруга, яка знімається з дільника R , прикладена до конденсатора C із сегнетоелектриком. Ця напруга зв'язана з напруженістю поля E у сегнетоелектрику співвідношенням

$$U_x = E \cdot h, \quad (10)$$

де h – товщина сегнетоелектрика ($h = 3 \cdot 10^{-3}$ м).

Таким чином, на горизонтально відхилювальні пластини осцилографа подається напруга U_x , пропорційна напруженості зовнішнього електричного поля.

Якщо відома чутливість b_1 осцилографа по горизонтальній осі, то

$$U_x = b_1 x, \quad (11)$$

де x – відхилення електронного променя вздовж осі X ; $b_1 = 0,033$ В/см.

Із співвідношень (10) і (11) отримаємо, що

$$E = \frac{b_1}{h} x. \quad (12)$$

Отже, у цій схемі на входи X і Y осцилографа одночасно подаються напруги $U_x \sim E$ і $U_y \sim D$. У результаті на екрані осцилографа спостерігається фігура Ліссажу, яка у даному разі і буде петлею гістерезису (рис.1).

Розглянемо основну криву поляризації – OA (рис.1), яка є геометричним місцем точок вершин кривих окремих циклів. Для кожної точки цієї кривої можна вважати, що величина зміщення $D = \varepsilon_0 \varepsilon E$. Тоді, визначивши величини D і E вершин окремих циклів, можна розрахувати відповідне значення діелектричної проникності сегнетоелектрика за формулою

$$\varepsilon = \frac{D}{\varepsilon_0 E} = \frac{h C_0 b_2 y}{\varepsilon_0 S b_1 x} \quad (13)$$

і отримати залежність $\varepsilon = f(E)$.

Послідовність вимірювань

1. Складіть схему установки відповідно до маркування на касеті (рис. 3).
2. Приєднайте електронний осцилограф і джерело живлення до мережі.
3. Підготуйте електронний осцилограф до роботи у режимі спостереження фігур Ліссажу.
4. Подайте живлення на лабораторний стенд та прилади. Установіть світну точку в центр екрана осцилографа.

Завдання 1. Отримання кривої $\varepsilon = f(E)$

1. Переконайтеся, що за відсутності напруги на конденсаторах світна точка на екрані осцилографа знаходиться у центрі екрана.

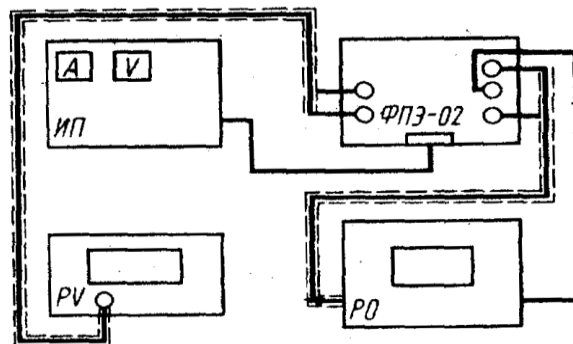


Рис. 3

2. Регулюючи потенціометром R на касеті напругу та підсилення сигналу по осі Y осцилографа, отримайте максимальну петлю гістерезису, яка буде відповідати максимальному стану насичення поляризації сегнетоелектрика. Площа петлі гістерезису при цьому повинна займати всю площину екрана осцилографа.

3. Запишіть у таблицю координати x_m і y_m вершини петлі гістерезису (точка А).

4. Зменшуючи поворотом ручки потенціометра R на панелі касети напругу, отримайте ще 4 – 5 петель гістерезису. Занесіть у таблицю координати x і y їхніх вершин. У разі необхідності змініть чутливість осцилографа по вертикалі b_2 . При цьому треба врахувати, що величина b_2 прийме нове значення.

5. За формулами (12), (13) обчисліть значення ε і E та занесіть їх у таблицю.

| № петлі | x , см | y , см | b_2 , В/см | ε | E , В/м |
|------------|-------------|-------------|-----------------|---------------|--------------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | | | | | |

Завдання 2. Визначення залишкової індукції $D_{зал}$ та коерцитивної сили E_c

1. Установіть на екрані максимальну петлю гістерезису.
2. Найдіть за допомогою координатної сітки екрана осцилографа координату $y_{заль}$, яка відповідає залишковій індукції, координату x_c , яка відповідає коерцитивній силі (з точністю до 0,1 поділки шкали екрана осцилографа).
3. За формулами (9) і (12) розрахуйте коерцитивну силу і залишкову індукцію.

Завдання 3. Визначення тангенса кута діелектричних втрат

1. Отримайте на екрані осцилографа максимальну петлю гістерезису.
2. Найдіть за допомогою координатної сітки екрана осцилографа координати x_m і y_m вершини цієї петлі.
3. Накресліть у координатах $y = f(x)$ петлю гістерезису, дотримуючись масштабу, визначте її площу.
4. Розрахуйте $tg\delta$ за формулою (6).

Контрольні питання

1. Що являє собою поляризація діелектриків?
2. Як пов'язана напруженість електричного поля в діелектрику з його діелектричною проникністю?
3. Які основні властивості мають сегнетоелектрики?
4. Що розуміють під діелектричними втратами?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. с. 92 –98.

Лабораторна робота 27.3

ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОШЕННЯ ЗАРЯДУ ЕЛЕКТРОНА ДО ЙОГО МАСИ МЕТОДОМ МАГНЕТРОНА

Прилади та обладнання: 1) касета ФПЕ-03; 2) джерело живлення;
3) міліамперметр.

Мета роботи: 1) дослідження руху зарядженої частинки в схрещених електричному та магнітному полях; 2) визначення питомого заряду електрона за скидальними характеристиками магнетрона, які одержані при різних анодних напругах.

Опис приладу та теоретичні відомості

Відношення заряду частинки до її маси називається питомим зарядом. Його можна визначити, досліджуючи рух частинки в схрещених електричному й магнітному полях. У цьому випадку на неї діє сила Лоренца

$$\vec{F} = q\vec{E} + q[\vec{v} \cdot \vec{B}],$$

де \vec{E} – напруженість електричного поля; \vec{v} – швидкість частинки; \vec{B} – магнітна індукція.

Прискорення частинки $\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{\vec{F}}{m}$. Враховуючи це, можна побачити, що траєкторія руху частинки визначається конфігурацією полів, орієнтацією вектора швидкості, питомим зарядом.

У цій роботі для визначення величини $\frac{q}{m}$ використано метод магнетрона. **Магнетрон** – це електронна лампа, в якій катод і анод утворюють коаксиальну систему, розміщену в поздовжньому магнітному полі соленоїда. Термоелектрони, емітовані катодом, рухаються в схрещених електричному й магнітному полях (напруженість \vec{E} спрямована радіально від анода до катода, індукція \vec{B} – уздовж осі циліндричної системи).

Від величини різниці потенціалів між катодом і анодом залежить швидкість, з якою рухається електрон у радіальному напрямку до анода. У магнітному полі на термоелектрони діє магнітна складова сили Лоренца, під впливом якої вони рухаються вздовж дуги кола радіусом R , який залежить від швидкості електронів \vec{v} і від магнітної індукції \vec{B} (рис. 1).

Якщо швидкість електрона не змінюється (різниця потенціалів U_a між анодом і катодом залишається постійною), то величина R залежить тільки від індукції \vec{B} , і при деякому значенні $B_{кр}$ діаметр дуги буде меншим відстані d між анодом і катодом ($d = r_a - r_k$). За цієї умови електрони не попадають на анод і не створюють анодного струму. Отже, вимірюючи силу анодного струму I_a у магнетроні при різних значеннях B , ми можемо отримати залежність, яка зображена на рис. 2.

У реальних умовах через дію багатьох факторів ця залежність являє собою досить плавну криву. Усе ж таки злам кривої може бути використаний

для визначення $B_{кр}$.

Коли індукція магнітного поля досягає критичного значення $B_{кр}$, радіальна складова швидкості поблизу анода стане дорівнювати нулю.

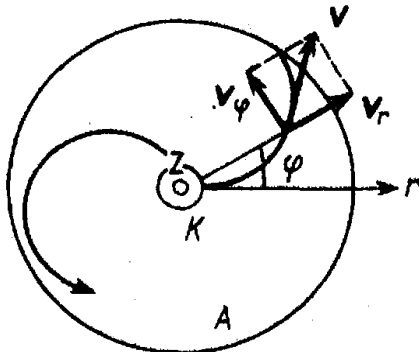


Рис. 1

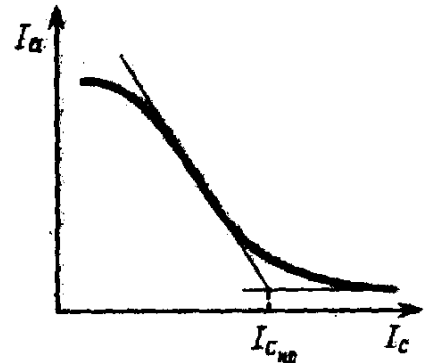


Рис. 2

Це означає, що електрон не попадає на анод. При цьому

$$eU_a = \frac{m}{8} \left(\frac{e}{m} \right)^2 \cdot \frac{B_{кр}^2}{r_a^2} (r_a^2 - r_k^2)^2, \quad (1)$$

де r_k, r_a – радіуси катода та анода.

Із виразу (1) виходить, що

$$\frac{e}{m} = \frac{8U_a}{B_{кр}^2 r_a^2 \left(1 - \frac{r_k^2}{r_a^2} \right)^2}. \quad (2)$$

При відомих r_a, r_k та наданій напрузі U_a розрахунок величини $\frac{e}{m}$ пов'язаний з визначенням $B_{кр}$.

Магнітне поле створює спеціальна котушка (соленоїд). Обчислити індукцію можна за формулою

$$B = \mu_0 I_c n \frac{\ell}{\sqrt{\ell^2 + D^2}}, \quad (3)$$

де I_c – сила струму, що протікає через соленоїд; ℓ – довжина соленоїда; D – діаметр соленоїда; n – число витків на одиницю довжини.

Послідовність вимірювань

1. Зберіть схему установки, з'єднав гнізда на лицьовій панелі касети ФП-03 з відповідними гніздами джерела живлення і міліамперметра (рис. 3).

2. Установіть анодну напругу $U_a = 50$ В. Значення анодної напруги визначайте за допомогою вольтметра ДЖ (джерела живлення).

3. Змінюючи струм, що протікає через соленоїд, від початкового до максимального значення через 0,1 А, отримайте залежність анодного струму I_a від сили стру-

му I_c , що протікає через соленоїд.

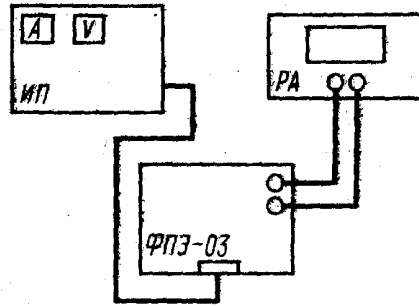


Рис. 3

Значення анодного струму визначають за допомогою міліамперметра, а струм соленоїда – за допомогою амперметра джерела живлення.

4. Повторіть пп. 2 і 3 при інших значеннях $U_a < 50$ В. У кожній серії вимірювань $U_a = \text{const}$. Результати вимірювань запишіть у табл. 1.

5. Для кожного значення анодної напруги побудуйте скидальну характеристику, відкладаючи по осі ординат значення анодного струму, а по осі абсцис – значення струму, що протікає через соленоїд. Для визначення критичного струму, що протікає через соленоїд, проведіть до взаємного перехрещення дотичну до точки перегину графіка (на ділянці спаду) і пряму, яка відповідає зміні мінімальних значень анодного струму (рис. 2). Занесіть отримані значення $I_{кр}$ у табл. 2.

6. Для кожного критичного значення струму, що протікає через соленоїд, за формулою (3) розрахуйте індукцію $B_{кр}$ магнітного поля. **Довжина соленоїда $\ell = 150$ мм; діаметр $D = 85$ мм; повне число витків $N=2700$; $r_k = 0,1$ мкм; $r_a = 1,22$ мкм.**

7. Обчисліть величину $\frac{e}{m}$ за формулою (2) для кожного значення критичного струму, що протікає через соленоїд, і визначте середнє значення $\langle \frac{e}{m} \rangle$.

Таблиця 1

| I_c, A | I_a, mA | $U_a=50 \text{ В}$ | | $U_a=40 \text{ В}$ | | $U_a=30 \text{ В}$ | |
|-----------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|--------------------|------------------|
| | | I_c, A | I_a, mA | I_c, A | I_a, mA | I_c, A | I_a, mA |
| | | | | | | | |

Таблиця 2

| U_a | $I_{кр}$ | $B_{кр}$ | $\left(\frac{e}{m}\right)_i$ | $\langle \frac{e}{m} \rangle$ |
|-------|----------|----------|------------------------------|-------------------------------|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

Контрольні питання

1. Що за сила діє з боку магнітного поля на заряджену частинку, яка в ньому рухається? Куди вона спрямована?
2. Чи впливає на величину $B_{кр}$ зміна напрямку струму, що протікає через со-

леноїд, на протилежний?

3. Чи можливо використовувати для живлення соленоїда змінний електричний струм?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. с. 286 – 290.

Лабораторна робота 27.4

ВИЗНАЧЕННЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ СОЛЕНОЇДА ЗА ДОПОМОГОЮ ДАТЧИКА ХОЛЛА

Прилади та обладнання: 1) касета ФПЕ-04; 2) джерело живлення; 3) цифровий вольтметр.

Мета роботи: 1) визначення сталої Холла, 2) вимір індукції магнітного поля у різних точках на осі соленоїда скінченної довжини.

Опис приладу та теоретичні відомості

Соленоїд являє собою провідник, який намотано у вигляді спіралі на циліндричний каркас. По витках тече струм, який і створює магнітне поле всередині соленоїда. Якщо довжина соленоїда набагато більша діаметра його витків, то соленоїд вважають нескінченно довгим. Магнітну індукцію такого соленоїда визначають співвідношенням

$$B = \mu_0 I_c n, \quad (1)$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$ – магнітна стала; n – число витків на одиницю довжини; I_c – сила струму в соленоїді.

Для експериментального дослідження індукції на осі соленоїда використовують метод, який базується на явищі Холла. Явище (ефект) Холла полягає у виникненні поперечної різниці потенціалів у пластині з провідника або напівпровідника, яка розміщена у магнітному полі та якщо по ній тече струм (рис. 1).

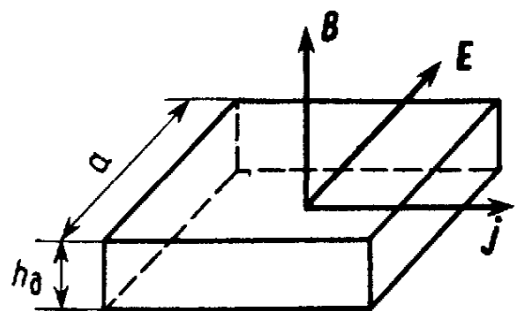


Рис. 1

Виникаюча різниця потенціалів називається ЕРС Холла і визначається за формулою

$$\varphi_1 - \varphi_2 = R_x b j B, \quad (2)$$

де b – ширина пластини; j – густина струму; B – магнітна індукція; R_x – стала Холла.

Оскільки $j = \frac{I}{S} = \frac{I}{b h}$, то з рівняння (2) знаходимо, що

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi = R_x \frac{I B}{h}, \quad (3)$$

де I – струм, що протікає через датчик Холла; h – товщина датчика.

Тоді з формули (3) маємо

$$R_x = \frac{\Delta\varphi h}{I B}. \quad (4)$$

Послідовність вимірювань

Завдання 1. Визначення залежності магнітної індукції у середній точці на осі соленоїда від сили струму I_c та калібрування датчика Холла

1. Установіть такий режим роботи приладів: на джерелі живлення натисніть праву клавішу “контроль струму”, перемикачі цифрового вольтметра переведіть у верхнє положення.

2. Увімкніть джерело живлення і цифровий вольтметр у розетку мережі. На джерелі живлення ручкою “5 В – 25 В” установіть послідовно чотири значення сили струму I_c у соленоїді від 0,5 до 2 А і виміряйте відповідні ЕРС Холла $\Delta\varphi$ цифровим вольтметром. Отримані результати занесіть у табл. 1.

Таблиця 1

| № з/п | Струм соленоїду I_c , А | ЕРС Холла $\Delta\varphi$, В | Індукція B , Тл | Стала Холла R , В·м/Тл·А |
|-------|---------------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------|
| | | | | |

3. За формулою (1) обчисліть магнітну індукцію для встановлених значень сили струму I_c . Паспортні дані, які використовуються при розрахунках:

$N = 2700$ витків; $\ell = 150$ мм; $n = 1,8 \cdot 10^4$ м⁻¹; $h = 0,2$ мм; $I = 90$ мА. Результати запишіть у табл. 1.

4. За формулою (4) обчисліть сталу Холла R_x для кожного вимірювання. Результати занесіть у табл. 1.

5. За даними табл. 1 побудуйте графіки залежностей $B = f(I_c)$ та $\Delta\varphi = f(I_c)$.

Завдання 2. Дослідження залежності індукції магнітного поля соленоїда від координати Z (Z – координата на осі соленоїда, яка відлічується від середньої точки)

1. Установіть силу струму в котушці соленоїда за вказівкою викладача.

2. Переміщуйте шток з датчиком Холла вздовж осі соленоїда з інтервалом $\Delta Z = 1$ см та вимірюйте у кожній точці ЕРС Холла. Результати занесіть у табл. 2.

3. За формулою (4) обчисліть магнітну індукцію для кожного зафіксованого положення датчика Холла. Результати запишіть у табл. 2.

4. Повторіть вимірювання і розрахунки за пп. 1 – 3 для нового значення стру-

му I_c (за вказівкою викладача).

5. Побудуйте графіки залежності $B = f(Z)$.

Таблиця 2

| | | | | |
|----------------------------------|-----|-----|----|---------|
| Положення датчика Холла Z , мм | 110 | 100 | 90 | і т. д. |
| ЕРС датчика Холла, В | | | | |
| Магнітна індукція B , Тл | | | | |

Контрольні питання

1. Поясніть сутність методу вимірювання індукції магнітного поля за допомогою датчика Холла.

2. Чи можливо за допомогою датчика Холла визначити напрямок вектора \vec{B} магнітного поля?

3. Докажіть, що індукція магнітного поля на кінці напівнескінченного соленоїда вдвічі менша, ніж у нескінченного соленоїда.

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. с. 270 – 276.

Лабораторна робота 27.5

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯВИЩА ВЗАЄМНОЇ ІНДУКЦІЇ

Прилади та обладнання: 1) касета ФПЕ-05; 2) генератор електромагнітних коливань звукової частоти; 3) електронний осцилограф.

Мета роботи: вимірювання взаємної індуктивності двох співвісних катушок на різних відстанях між їх центрами при різних частотах та напругах джерела живлення.

Опис приладу та теоретичні відомості

Якщо потік магнітної індукції через контур змінюється за часом, то відповідно до закону електромагнітної індукції Фарадея у контурі виникає ЕРС індукції

$$\varepsilon = - \frac{\partial \Phi}{\partial t} , \quad (1)$$

де

$$\Phi = \int_s \vec{B} d\vec{S} . \quad (2)$$

Знак “–” у формулі (1) означає: індукційний струм завжди має такий напрямок, при якому він перешкоджає причині, що його викликає (правило Ленца).

Розглянемо два контури 1 і 2, які розташовані на деякій відстані один від одного (рис. 1).

Якщо по контуру 1 пропустити струм I_1 , то він створить потік магнітної індукції, що проходить через контур 2:

$$\Phi_{21} = M_{21} I_1. \quad (3)$$

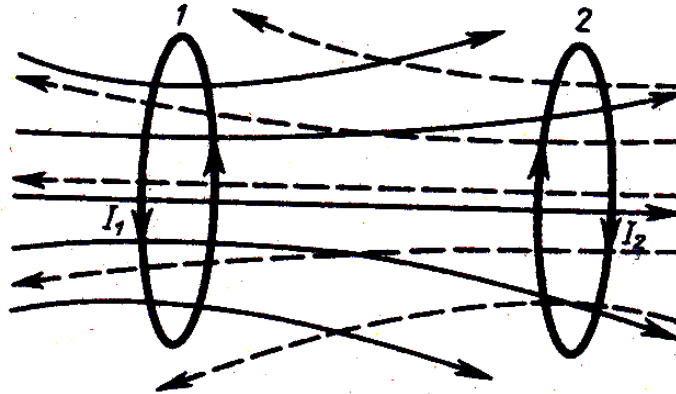


Рис. 1

Коефіцієнт пропорційності M_{21} називають коефіцієнтом взаємної індукції контурів. Він залежить від форми та взаємного розміщення контурів 1 і 2, а також від магнітних властивостей оточуючого середовища.

При змінюванні сили струму в першому контурі магнітний потік, проходячи через другий контур, змінюється, отже, в ньому наводиться ЕРС взаємної індукції

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -M_{21} \frac{dI_1}{dt}. \quad (4)$$

У формулі (4) на відміну від виразу (1) є повна похідна за часом, оскільки контури 1 і 2 закріплені жорстко і ε_2 залежить тільки від змінювання сили струму в контурі 1. Формула (4) справедлива у разі відсутності феромагнетиків.

Якщо поміняти місцями контури 1 і 2 та повторити попередні дії, то

$$\varepsilon_2 = -\frac{d\Phi_{21}}{dt} = -M_{21} \frac{dI_1}{dt}.$$

Можна показати, що коефіцієнти взаємної індукції однакові:

$$M_{21} = M_{12}. \quad (5)$$

У цій роботі визначають взаємну індукцію (взаємну індуктивність) двох котушок (довгої котушки L_1 і короткої котушки L_2 , яку надівають на котушку L_1 і яку можна переміщувати вздовж осі довгої котушки). Схема установки зображена на рис. 2. Живлення однієї з котушок здійснюється від генератора звукової частота PQ, напруга з якого

$$U = U_0 \cos \omega t \quad (6)$$

подається через резистор, що має опір R .

Вольтметр, розташований на панелі PQ, вимірює діючу напругу $U_d = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$.

Опір вибирають таким, щоб виконувалася нерівність

$$R \gg \sqrt{R_1^2 + L_1^2 \omega^2},$$

де L_1 – індуктивність котушки L_1 ; R_1 – її активний опір. У цьому випадку силу струму, який тече через котушку L_1 , можна визначити за формулою

$$I_1 = \frac{U}{R} = \frac{U_0}{R} \cos \omega t = I_{01} \cos \omega t. \quad (7)$$

Змінний струм I_1 створює ЕРС індукції у котушці L_2 , тобто

$$\varepsilon_2 = -M_{21} \frac{dI_1}{dt} = M_{21} \frac{U_0}{R} \omega \sin \omega t. \quad (8)$$

Для виміру ε_2 у роботі використовують осцилограф. Амплітуда ЕРС індукції

$$\varepsilon_{02} = M_{21} \frac{U_0}{R} \omega = M_{21} \frac{U_0}{R} 2\pi\nu, \quad (9)$$

де ν – частота звукового генератора.

З формули (9) маємо
$$M_{21} = \frac{\varepsilon_{02} R}{2\pi\nu U_0}. \quad (10)$$

Якщо поміняти місцями котушки L_1 і L_2 , то можна записати

$$M_{12} = \frac{\varepsilon_{01} R}{2\pi\nu U_0}. \quad (11)$$

Замість перестановки котушок у макеті використовують просту схему перемикання: перемикачі Π_1 і Π_2 треба перевести у протилежне положення.

Послідовність вимірювань

Зберіть установку, яка складається із звукового генератора PQ, касети ФПЕ-05 з двома співвісно розташованими котушками L_1 і L_2 , штока та електронного осцилографа (рис. 2).

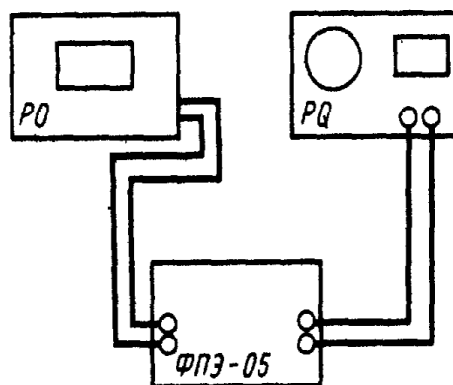


Рис. 2

Підготуйте осцилограф і звуковий генератор до роботи, увімкніть їх у мережу.

Завдання 1. Вимірювання взаємних індуктивностей M_{21} і M_{12} та дослідження їхньої залежності від взаємного розміщення котушок

1. Напругу сигналу від звукового генератора PQ установіть в діапазоні 1 – 4 В, а частоту – в межах 3 – 20 кГц.

2. За допомогою перемикачів Π_1 і Π_2 напругу подайте на котушку L_1 , а ЕРС з котушки L_2 на осцилограф.

3. Установіть пересувну котушку L_1 у крайнє положення. Переміщуючи її у протилежнє крайнє положення, через кожен сантиметр записуйте значення ЕРС магнітної індукції у колі котушки L_2 .

4. За формулою (10) розрахуйте величину M_{21} . Результати вимірювань і розрахунків занесіть у табл. 1.

Таблиця 1

| Z, см | ε_{02} , В | M_{21} , Гн | Z, см | ε_{01} , В | M_{12} , Гн |
|-------|------------------------|---------------|-------|------------------------|---------------|
| | | | | | |
| | | | | | |

$$U_{\text{д}} = \quad \nu = \quad R = 10^4 \text{ Ом}$$

5. Поміняйте місцями котушки L_1 і L_2 (за допомогою перемикачів Π_1 і Π_2) та повторіть вимірювання за пп. 1 – 4.

6. Побудуйте графіки залежностей M_{21} і M_{12} як функції координати Z (Z – відстань між центрами котушок L_1 і L_2).

Завдання 2. Визначення величини M_{21} для різних напруг живлення

1 Установіть котушку L_1 у середнє положення відносно котушки L_2 .

2. Установіть частоту звукового генератора за вказівкою викладача (наприклад, 10^4 Гц).

3. Змініть напругу $U_{\text{д}}$; у колі котушки L_1 зніміть залежність амплітуди ЕРС магнітної індукції від $U_{\text{д}}$: $\varepsilon_{02} = f(U_{\text{д}})$. Вимірювання виконуйте в інтервалі поруч 0 – 5 В через 0,5 В.

4. За формулою (10) розрахуйте величину M_{21} . Дані вимірювань та обчислень занесіть у табл. 2.

Таблиця 2

| | |
|------------------------|--|
| $U_{\text{о}}$, В | |
| ε_{02} , В | |
| M_{21} , Гн | |

$$\nu = \quad R = 10^4 \text{ Ом}$$

5. За даними табл. 2 знайдіть середнє значення M_{21} .

Завдання 3. Визначення величини M_{21} для різних частот генератора

1. Установіть котушку L_1 у середнє положення відносно котушки L_2 .

2. Установіть амплітуду напруги генератора за вказівкою викладача.

3. Змінюючи частоту генератора від 5 до 20 кГц (не менше 10 значень), зніміть залежність амплітуди ЕРС індукції \mathcal{E}_{02} від частоти напруги генератора.

4. За формулою (10) розрахуйте величину M_{21} . Дані вимірювань та обчислень запишіть у табл. 3.

Таблиця 3

| | |
|------------------------|--|
| ν , кГц | |
| \mathcal{E}_{02} , В | |
| M_{21} , Гн | |

$$U_{д=} \quad R = 10^4 \text{ Ом}$$

5. За даними табл. 3 знайдіть середнє значення M_{21} .

Контрольні питання

1. Сформулюйте закон електромагнітної індукції і правило Ленца.
2. У чому полягає явище взаємної індукції? Від чого залежить взаємна індуктивність?
3. На замкнене залізне осердя, магнітна проникненість якого μ , намотані дві котушки, які мають число витків N_1 і N_2 . Вивести формулу для взаємної індуктивності, якщо довжина осердя ℓ , а площа перерізу S .

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. с. 357 – 359.

Лабораторна робота 27.6

ВИЗНАЧЕННЯ РОБОТИ ВИХОДУ ЕЛЕКТРОНІВ З МЕТАЛУ

Прилади та обладнання: 1) касета ФПЕ-06; 2) джерело живлення; 3) цифровий міліамперметр; 4) вольтметр.

Мета роботи: 1) визначення роботи виходу електронів з вольфраму шляхом обробки вольт-амперних характеристик електронної лампи з вольфрамовим катодом.

Опис приладу та теоретичні відомості

Найменшу енергію, яку необхідно надати електрону провідності, щоб вилучити його із твердого або рідкого тіла у вакуум, називають роботою виходу електрона. Це означає, що електрони провідності не можуть самочинно залишати метал у примітній кількості. Пояснюється це тим, що метал являє собою для електронів потенціальну яму. Залишити метал удається тільки тим електронам, енергія яких виявляється достатньою для подолання потенціального бар'єра, який є на поверхні металу. При температурі, яка дорівнює 0 К, енергетичні рівні електронів у потенці-

альній ямі розподілені так, як це зображено на рис. 1.

За нульову енергію прийнята енергія вільного електрона поза металом. Пунктиром зображені незаповнені при $T = 0$ К енергетичні рівні. E_F – енергія Фермі – максимальна кінетична енергія, яку може мати електрон при $T = 0$ К.

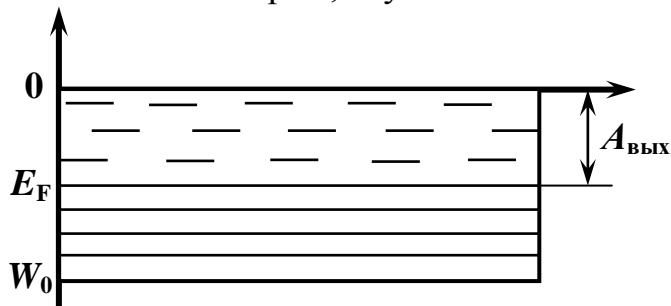


Рис.1

Отже,
$$A_{\text{вих}} = W_0 - E_F. \quad (1)$$

Випромінювання електронів твердими або рідкими тілами називають емісією електронів. Якщо енергія для емісії надається тілу внаслідок нагріву, то така емісія називається термоемісією. Явище термоемісії лежить в основі роботи вакуумного діода, схема вмикання якого наведена на рис. 2.

Вольт-амперною характеристикою (ВАХ) називають залежність анодного струму від напруги на аноді при незмінній напрузі розжарювання катода (температури катода). На рис. 3 зображені ВАХ діода при різних температурах катода.

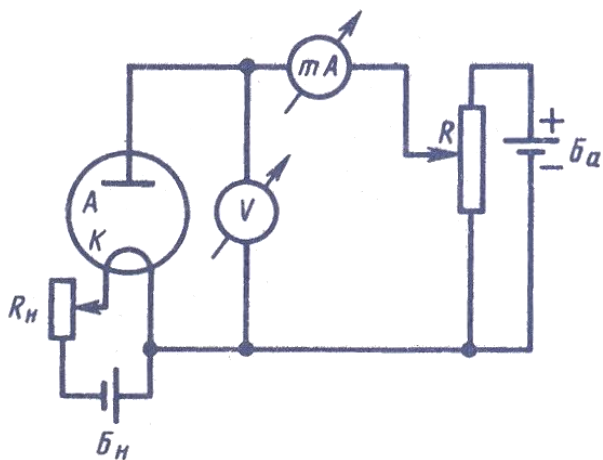


Рис.2

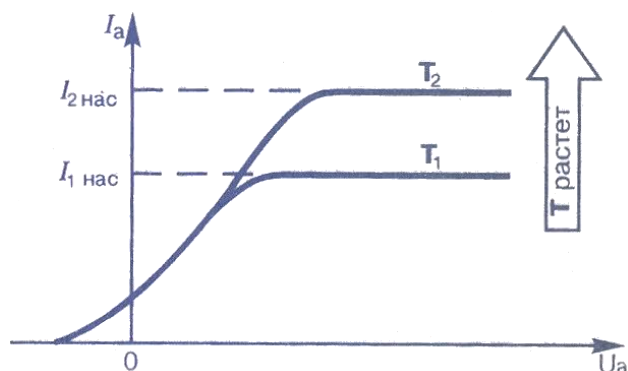


Рис.3

ВАХ діода нелінійна, що пояснюється наявністю об'ємного негативного заряду поблизу поверхні катода. При визначеному значенні U_a усі електрони, які емітовані за одиницю часу, досягнуть анода. Настає насичення. Максимальний анодний струм при даній температурі називають струмом насичення. Густина струму насичення обчислюють за формулою Річардсона – Дешмена

$$j = BT^2 e^{-\frac{A_{\text{вих}}}{T}}, \quad (2)$$

де B – емісійна стала, для вольфраму $B = 60,2 \cdot 10^4 \text{ А} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-2}$.

Цей закон і використовують для визначення роботи виходу електронів з металу. Після логарифмування рівняння (2) маємо $\ln \frac{J_{\text{нас}}}{T^2} = \ln B - \frac{A_{\text{вих}}}{k} \cdot \frac{1}{T} \cdot \ln e$.

Після переходу до десятинних логарифмів запишемо

$$\lg \frac{J_{нас}}{T^2} = \lg B - \frac{A_{вих}}{kT} \cdot 0,43.$$

Такий вигляд рівняння зручний для його експериментальної перевірки. Графік залежності $\lg \frac{J_{нас}}{T^2}$ від $\left(\frac{1}{T}\right)$ являє собою пряму лінію з кутовим коефіцієнтом $0,43 \frac{A_{вих}}{k}$. Визначивши тангенс кута нахилу прямої до осі абсцис, можна обчислити роботу виходу за формулою:

$$A_{вих} = \frac{k \cdot \text{tg} \alpha}{0,43}. \quad (3)$$

де k – стала Больцмана.

Для побудови графіка необхідно знати густину струму насичення $J_{нас}$ і температуру катода. Розрахунок температури проводять таким чином. Потужність струму, який підводять до катода, витрачається у лампі в основному на теплове випромінювання. Для вольфраму експериментально визначено залежність температури катода від потужності, яка витрачається на одиницю площі поверхні катода. На графіку, який додається до роботи, наведені результати цих вимірювань. За графіком, якщо відома потужність, яку підводять до катода, можна визначити його температуру.

Послідовність вимірювань

1. Зберіть схему установки, яка має чотири блоки: касету ФПЕ-06 з вакуумною лампою, джерело живлення ИП, вольтметр PV та міліамперметр РА (рис. 4).

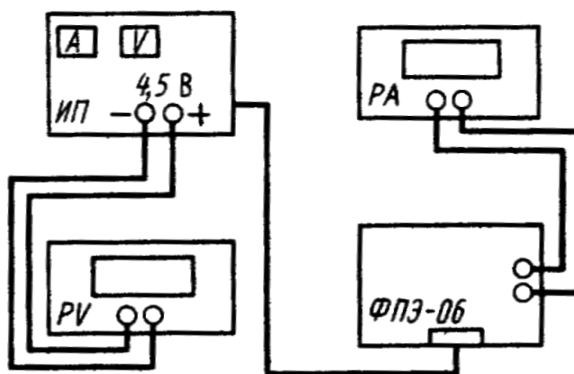


Рис.4

Амперметр на панелі джерела живлення служить для контролю струму розжарювання, максимальне значення якого не повинно перевищувати 2,2 А. Плавне регулювання напруги розжарювання виконують ручкою 0 – 4,5 В на лицьовій панелі ИП. Для виміру напруги розжарювання використовують вольтметр, який приєднують до гнізд 0 – 4,5 В.

Вольтметр на панелі джерела живлення використовують для виміру анодної напруги. Силу анодного струму вимірюють цифровим міліамперметром.

Після підготовки установки до роботи, увімкнути джерело живлення та

цифровий міліамперметр у мережу.

Завдання 1

1. Установіть напругу розжарювання 3 В і, збільшуючи послідовно анодну напругу на 10 В, запишіть значення анодного струму у табл. 1. Анодну напругу збільшуйте до таких значень, при яких струм I_a перестане зростати, тобто доти, доки не настане режим насичення.

2. Повторіть п. 1 для чотирьох значень напруги розжарювання в інтервалі від 3 до 4,4 В.

3. Для кожного значення $U_{розж}$ побудуйте ВАХ і визначте $I_{нас}$.

4. Для кожного значення $U_{розж}$ розрахуйте потужність, яку споживає катод:

$$P_{розж} = I_{розж} U_{розж}$$

Таблиця 1

| | | | | | |
|----------------------------|-------------------|----|----|----|---------|
| $U_{розж} = 3 \text{ В}$ | $U_a, \text{ В}$ | 10 | 20 | 30 | і т. д. |
| $I_{розж} =$ | $I_a, \text{ мА}$ | | | | |
| $U_{розж} = 3,4 \text{ В}$ | $U_a, \text{ В}$ | | | | |
| $I_{розж} =$ | $I_a, \text{ мА}$ | | | | |
| $U_{розж} = 4,4 \text{ В}$ | $U_a, \text{ В}$ | | | | |
| $I_{розж} =$ | $I_a, \text{ мА}$ | | | | |

5. За графіком, який прикладено до роботи, та розрахованими значеннями $P_{розж}$ визначте температури катода T_k . По горизонтальній осі відкладена величина $\frac{P_{розж}}{\ell \cdot d}$, де ℓ – довжина, d – діаметр волоска розжарювання.

Для лампи, яку використовують у роботі, $\ell = 0,31 \cdot 10^{-3} \text{ м}$, $d = 0,11 \cdot 10^{-3} \text{ м}$.

6. Розрахуйте густину анодного струму насичення і відношення квадрата струму насичення до температури катода. $J_H = \frac{I_H}{S}$. $S = 11 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$.

7. Усі отримані дані занесіть у табл. 2

8. Побудуйте графік залежності $\lg \frac{J_H}{T^2}$ від $\frac{1}{T}$.

Таблиця 2

| № з/п | $I_H,$ мА | $P_{розж},$ Вт | $\frac{P_{розж}}{\ell \cdot d},$ Вт/см ² | $T,$ К | $\frac{1}{T},$ К ⁻¹ | $J_H,$ мА/м ² | $\frac{J_H}{T^2},$ мА/м ² · К ² | $\lg \frac{J_H}{T}$ |
|-------|--------------|-------------------|--|-----------|-----------------------------------|-----------------------------|--|---------------------|
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |

9. За формулою (3) розрахуйте роботу виходу електронів з металу.

10. Визначте емісійну сталу B , логарифм якої дорівнює ординаті точки пе-

ретину графіка $\lg \frac{J_H}{T^2} = f\left(\frac{1}{T}\right)$ з віссю ординат.

Контрольні питання

1. Поясніть закон Річардсона – Дешмена.
2. Що називають роботою виходу електронів?
3. Накресліть і поясніть залежність $I_a=f(U_a)$ для вакуумного діода.
4. Що таке струм насичення і як він залежить від температури катода?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. с. 168 – 171.

Лабораторна робота 27.7

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІСТЕРЕЗИСУ ФЕРОМАГНІТНИХ МАТЕРІАЛІВ

Прилади та приладдя: 1) касета ФПЕ-07; 2) генератор електромагнітних коливань звукової частоти; 3) електронний осцилограф.

Мета роботи – визначення: 1) кривої намагнічування; 2) коерцитивної сили; 3) залишкової намагніченості; 4) роботи перемагнічування за один цикл феромагнетика по петлі гістерезису при різних напругах живлення.

Опис приладу та теоретичні відомості

Феромагнетиками називають тверді тіла, які мають спонтанну намагніченість, тобто намагнічені вже у відсутності магнітного поля. У цьому відношенні вони аналогічні сегнетоелектрикам. Типовими представниками феромагнетиків є залізо, кобальт, нікель та багато їх сплавів.

Характерною особливістю феромагнетиків є нелінійна залежність величини B від H (рис. 1), їм властиво явище магнітного гістерезису. Залежність між B і H виявляється неоднозначною, а визначається попередньою історією намагнічування. Якщо спочатку ненамагнічений феромагнетик намагнічувати, збільшуючи H від нуля до значення, при якому настає насичення (точка A на рис.1), а потім зменшувати H від H_a до $-H_0$, то крива намагнічування $B(H)$ піде не по первісному шляху AO , а вище – по шляху ACD . Якщо далі змінювати H у зворотному напрямку від $-H_0$ до $+H_a$, то крива намагнічування пройде нижче – по шляху $A'C'A$.

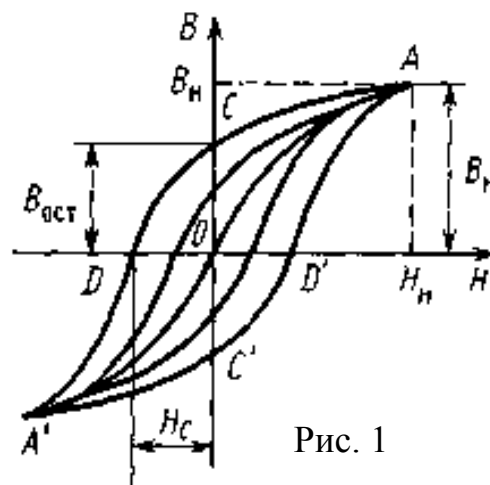


Рис. 1

Отриману замкнену криву називають петлею гістерезису. У тому випадку, коли в точках A і A' досягається насичення, петлю гістерезису називають максимальною. Якщо ж у крайніх точках насичення нема, то одержують петлі гістерезису меншого розміру, тобто вписану в максимальну петлю.

З рисунка видно, що при $H = 0$ намагнічування не зникає (точка C) і характеризується величиною $B_{зал}$, яку називають залишковою індукцією. Для її зникнення треба прикласти поле $H = -H_k$. Величина H_k називається коерцитивною силою. Прийнято феромагнетик вважати жорстким, якщо $H_k \geq 100$ А/м. Якщо $H_k < 100$ А/м, то феромагнетик вважають м'яким. Жорсткі феромагнетики використовують для виготовлення постійних магнітів, м'які – як осердя трансформаторів змінного струму та для електричних машин.

Петлю гістерезису легко отримати на екрані електронно – променевої трубки осцилографа.

Принципова схема установки зображена на рис. 2.

На первинну обмотку трансформатора подається змінна напруга від звукового генератора. У коло первинної обмотки приєднаний резистор R_1 . В осерді трансформатора утворюється змінне магнітне поле, напруженість якого пропорційна силі струму, який протікає через резистор R_1 . Якщо з резистора R_1 напругу подати на вхід X

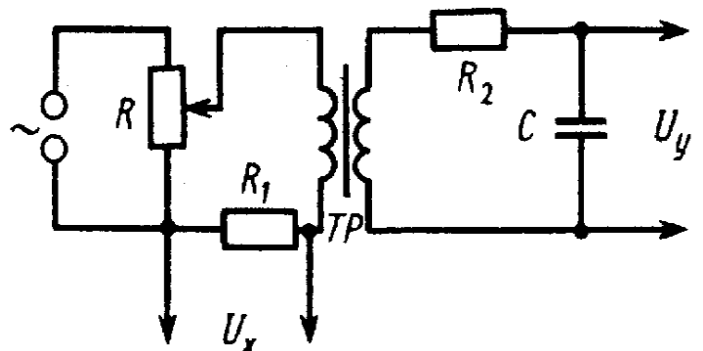


Рис. 2

осцилографа, то величина відхилення променя на екрані буде пропорційна напруженості H магнітного поля.

На вхід Y осцилографа подається напруга з конденсатора C , пропорційна заряду конденсатора, який, у свою чергу, пропорційний величині B . Таким чином, на горизонтальний і вертикальний входи осцилографа одночасно подають напруги, пропорційні відповідно напруженості H та індукції B магнітного поля. На екрані осцилографа можна спостерігати петлю гістерезису.

Досліджуваний зразок феромагнетику виконано у вигляді тороїду. Тому

$$H = \frac{N_1}{2\pi \cdot r_m} I_1,$$

де $r_m = \frac{r_1 + r_2}{2}$, r_1 і r_2 – внутрішній та зовнішній радіуси тороїду; I_1 – сила струму у первинній обмотці тороїду; N_1 – кількість витків первинної обмотки тороїду.

Спад напруги на резисторі R_1 визначається за формулою

$$U_x = I_1 R_1 = \frac{2\pi \cdot r_m}{N_1} R_1 H \quad (1)$$

і пропорційний відхиленню електронного променя по осі X , тобто

$$U_x = b_1 x, \quad (2)$$

де b_1 – чутливість осцилографа.

З урахуванням виразів (1) і (2) напруженість магнітного поля можна розрахувати так:

$$H = \frac{N_1}{2\pi r_m R_1} b_1 x = \alpha b_1 x, \quad (3)$$

де $\alpha = \frac{N_1}{2\pi r_m R_1}$.

За законом Фарадея – Ленца ЕРС індукції у вторинній обмотці

$$\varepsilon_i = -N_2 \frac{d\Phi}{dt} = -N_2 \frac{dB}{dt} S_2,$$

де Φ – потік магнітної індукції \vec{B} через один виток вторинної обмотки; $S_2 = (r_2 - r_1) d$ – площа перерізу тороїду (d – товщина тороїду).

За законом Ома для вторинної обмотки трансформатора

$$\varepsilon_2 = U_c + I_2 R_2 + L_2 \frac{dI_2}{dt}, \quad (4)$$

де U_c – напруга на конденсаторі; I_2 – сила струму у вторинній обмотці; L_2 – індуктивність обмотки.

Якщо електроємність C і опір R_2 достатньо великі, то

$$I_2 R_2 \gg U_c = \frac{q}{C}, \quad I_2 R_2 \gg L_2 \frac{dI_2}{dt}, \quad (5)$$

де q – заряд конденсатора.

З урахуванням формули (5) вираз (4) виглядає так:

$$I_2 = -\frac{\varepsilon_i}{R_2} = -\frac{N_2 S_2}{R_2} \cdot \frac{dB}{dt}. \quad (6)$$

Напруга на конденсаторі U_c , яку подають на підсилювач вертикального відхилення променя осцилографа,

$$U_c = U_y = \frac{q}{c} = \frac{0}{C} - \frac{\int_0^t I_2 dt}{R_2 C} = -\frac{N_2 S_2}{R_2 C} \int \frac{dB}{dt} dt = -\frac{N_2 S_2}{R_2 C} \cdot B. \quad (7)$$

Ця напруга пропорційна відхиленню електронного променя вздовж вертикальної осі, тобто

$$U_y = b_2 y. \quad (8)$$

Із виразів (7) та (8) отримаємо величину магнітної індукції:

$$B = \beta \cdot b_2 \cdot y, \quad (9)$$

де $\beta = \frac{R_2 C}{N_2 S_2}$.

Змінюючи силу струму I у первинній обмотці тороїдального трансформатора, спостерігають за петлею гістерезису на екрані осцилографа.

По площі петлі гістерезису можна знайти роботу перемагнічування ферромагнетика, віднесену до одиниці об'єму зразка. Тоді об'ємна густина енергії магнітного поля

$$\omega_v = \frac{\mu_0 \mu H^2}{2} = \frac{BH}{2}.$$

Елементарна робота, яка виконується у циклі перемагнічування,

$$\delta A = d\omega_v = HdB.$$

Робота за повний цикл перемагнічування

$$A = \oint HdB. \quad (10)$$

З урахуванням виразів (9) і (10) можна записати, що

$$A = \alpha \beta b_1 b_2 \oint x dy = \alpha \beta b_1 b_2 S_{\text{пет}}, \quad (11)$$

де $S_{\text{пет}}$ – площа петлі гістерезису на екрані осцилографа, виміряна в см^2 .

Послідовність вимірювань

Зберіть схему установки відповідно до маркування на касеті ФПЕ-07 (рис. 3).

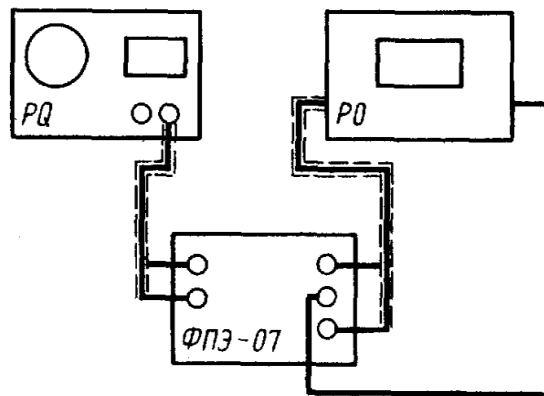


Рис. 3

Завдання 1. Знімання кривої намагнічування

1. Підготуйте осцилограф до роботи у режимі спостереження фігур Ліссажу.
2. На генераторі встановіть частоту 2 кГц.
3. Підведіть живлення до лабораторного столу та увімкніть прилади.
4. Регулюючи вихідну напругу генератора і підсилення по осі Y осцилографа, установіть максимальну петлю гістерезису, яка відповідає магнітному насиченню зразка. При цьому петля гістерезису повинна займати найбільшу площу екрана осцилографа.

5. Занесіть у таблицю координати x та y вершин максимальної петлі гістерезису.

6. Змініть за допомогою ручки "Рег. вих." звукового генератора площу петлі гістерезису на екрані осцилографа і знову занесіть у таблицю координати її вершин.

7. Повторіть вимірювання за п. 6 ще для чотирьох петель гістерезису. У разі необхідності (якщо розмір петлі малий) можна змінити чутливість осцилографа по вертикалі. При цьому величина b_2 приймає нове значення (обчислюють b_2 як добуток ко-

ефіцієнта підсилення по осі Y на множник). Результати вимірювань занесіть у таблицю.

8. Обчисліть величини H та B за формулами (3) і (8). Додаткові дані, необхідні для розрахунків: $r_1 = 10$ мм; $r_2 = 15$ мм; $N_1 = 200$ витків; $N_2 = 50$ витків; $R_1 = 100$ Ом;

$R_2 = 24$ кОм; $b_1 = 0,032$ В/см; $C = 0,022$ мкФ; $d = 0,5$ см.

9. Побудуйте криву намагнічування $B = f(H)$.

Завдання 2. Визначення коерцитивної сили

1. Установіть максимальну петлю гістерезису.

2. Для цієї петлі знайдіть координату X_k , яка відповідає коерцитивній силі H_k , та координату $Y_{зал}$, яка відповідає величині $B_{зал}$. За формулами (3) і (9) обчисліть H_k і $B_{зал}$.

3. Визначте групу магнетика (твердий або м'який).

| № петлі | X , см | Y , см | H , А/м | B , Тл | A , Дж | H_k , А/м | Група феромагнетика |
|---------|----------|----------|-----------|----------|----------|-------------|---------------------|
| | | | | | | | |

Завдання 3. Визначення роботи перемагнічування A за цикл

1. Максимальну за розміром петлю гістерезису перенесіть на міліметровий папір і обчисліть її площу $S_{нет}$ (см²).

2. За формулою (11) обчисліть роботу перемагнічування.

Контрольні питання

1. На які групи поділяють магнетиками?
2. Які основні властивості мають феромагнетиками?
3. У чому полягає явище магнітного гістерезису?
4. Що називають коерцитивною силою?
5. Які феромагнетиками відносять до твердих, а які до м'яких?
6. Що називають роботою перемагнічування?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. с. 324 – 331.

Лабораторна робота 27.8

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЗАРЯДКИ І РОЗРЯДКИ КОНДЕНСАТОРА

Прилади та обладнання: 1) перетворювач імпульсів (касета ФПЕ-III); 2) два магазини опорів; магазин ємностей; 3) джерело живлення (ИП); 4) генератор електромагнітних коливань звукової частоти (PQ); 5) електронний осцилограф (РО).

Мета роботи: 1) експериментальне дослідження процесів зарядки і роз-

рядки конденсатора при подачі на нього імпульсу напруги.

Опис приладу та теоретичні відомості

Процеси зарядки і розрядки конденсатора широко використовують в автоматиці, телебаченні, радіолокації, вимірювальній техніці.

Дана робота спрямована на вивчення цих процесів. У лабораторній установці використано джерело прямокутних імпульсів (ПИ), яке перетворює синусоїдну напругу генератора у прямокутні імпульси. Частоту проходження імпульсів можна міняти, змінюючи частоту генератора. Для регулювання шпаруватості на ПИ передбачено кнопки "ТРУБО, ТОЧНО" та ручку "СКВАЖНОСТЬ". Від перетворювача ПИ прямокутні імпульси надходять на опір R_1 (рис. 1).

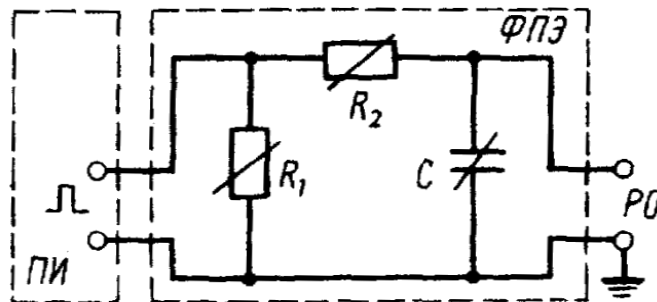


Рис. 1

У момент часу t_1 конденсатор починає заряджатися через опір R_2 , напруга на його обкладках збільшується від нуля до U_0 за експоненціальним законом (рис. 2):

$$U = U_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{RC}} \right). \quad (1)$$

У момент часу t_2 імпульс з ПИ закінчується: конденсатор через опір $R = R_1 + R_2$ починає розряджатися. Напруга на обкладках конденсатора зменшується за експоненціальним законом. Величина $\tau = RC$ має розмірність часу і називається часом релаксації. Релаксація – самостійний процес переходу в стійкій рівноважний стан. За час $\tau = RC$ напруга на конденсаторі зменшується згідно із співвідношенням $\frac{U}{U_0} = \frac{1}{e}$, тобто в "e" разів.

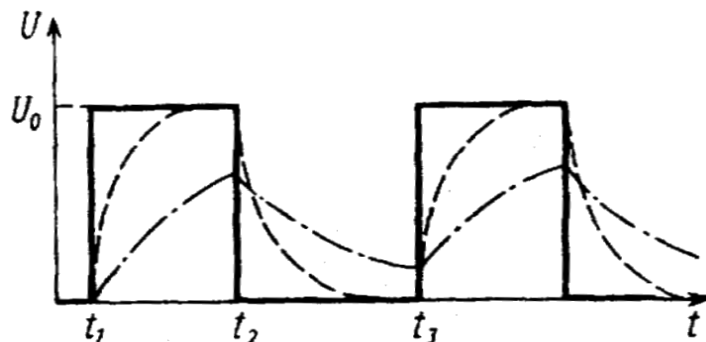


Рис.2

Найчастіше вимірюють час τ , за який напруга спадає до половини початкового значення, і за цим часом обчислюють величину RC .

“Половинний час” визначають таким чином:

$$\frac{U}{2} = U_0 e^{-\frac{t_{1/2}}{RC}}; \quad (2)$$

$$\ln 2 = \frac{t_{1/2}}{RC} = \frac{t_{1/2}}{\tau}, \quad (3)$$

звідки

$$t_{1/2} = \tau \ln 2 = 0,693 \tau.$$

За кривими зарядки і розрядки конденсатора можна спостерігати на екрані електронного осцилографа. Час релаксації процесу зарядки $\tau_3 = R_2 C$. Час релаксації процесу розрядки $\tau_p = (R_1 + R_2) C$. При збільшенні опору або ємності конденсатор може не встигнути повністю зарядитися за час $t_2 - t_1$, який дорівнює тривалості імпульсу, або повністю розрядитися за час $t_3 - t_2$ (штрихпунктирна крива на рис. 2). Майже повної релаксації у цьому випадку можна домогтися змінюванням частоти проходження імпульсів (змінюючи частоту генератора) або шпаруватістю імпульсів.

Послідовність вимірювань

Блок – схема установки зображена на рис. 3. Складається вона з магазинів опору (МО), за допомогою яких можна міняти опори R_1 і R_2 , магазину ємностей (МЕ), перетворювача імпульсів (ПИ), джерела живлення (ИП), електронного осцилографа (РО) та генератора (PQ).

1. Зберіть схему установки відповідно до рис. 3.
2. Установіть на магазинах опорів і ємностей такі значення: $R_1 = 100\text{--}2000 \text{ Ом}$ і $R_2 = 2 \text{ кОм}$; $C = 2 \cdot 10^{-2} \text{ мкФ}$.
3. Установіть вихідну напругу звукового генератора не більше 3 В, частоту 2 кГц.

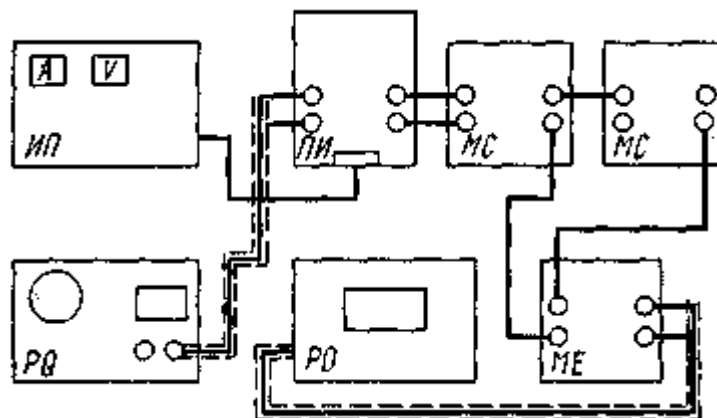


Рис. 3

4. На касеті перетворювача імпульсів (ФПЕ-09) натисніть кнопку \perp та ліву клавішу “СКВАЖНОСТЬ – ГРУБО“. Ручку “СКВАЖНОСТЬ“ установіть у

крайнє праве положення.

5. Увімкніть генератор розгортки електронного осцилографа і встановіть час розгортки променя таким, щоб на екрані осцилографа можна було спостерігати 1 – 2 періоди змінної напруги частотою 2 кГц. Підсилення по осі Y осцилографа повинно бути достатнім для спостереження за напругою в 3 В.

6. Після перевірки схеми викладачем, увімкніть стенд і прилади.

Завдання. Вимірювання кривих зарядки і розрядки конденсатора

1. Отримайте на екрані осцилографа стійку картину зарядки і розрядки конденсатора. У разі необхідності змініть частоту проходження імпульсів (змінюючи частоту звукового генератора), спостерігаючи за тим, щоб процеси зарядки та розрядки конденсатора були достатньо повними (рис. 2).

2. Поєднайте початок кривої зарядки з початком сітки на екрані осцилографа і запишіть координати (в поділках сітки) 5 – 6 точок на кривій зарядки. Використовуючи значення коефіцієнта підсилення по осі Y і коефіцієнта розгортки переведіть координату у кожної точки у вольти, а координату x – у секунди. Результати занесіть у табл. 1.

Таблиця 1

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | ... |
|----------|---|---|---|---|---|---|-----|
| x , см | | | | | | | |
| y , см | | | | | | | |
| t , с | | | | | | | |
| U , В | | | | | | | |

3. Аналогічні вимірювання проведіть і з кривою розрядки конденсатора. Результати занесіть у табл. 2.

4. Побудуйте криві зарядки і розрядки конденсатора на одному графіку. За цими кривими визначте час, за який напруга зміниться вдвічі (половинний час $t_{1/2}$). Розрахуйте величину $A = \frac{t_{1/2}}{R_2 C}$ для кривої зарядки і величину

$A = \frac{t_{1/2}}{(R_1 + R_2) C}$ для кривої розрядки і порівняйте отриманий результат з теоретичним значенням $A_{\text{теор}} = 0,693$.

Таблиця 2

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | ... |
|----------|---|---|---|---|---|---|-----|
| x , см | | | | | | | |
| y , см | | | | | | | |
| t , с | | | | | | | |
| U , В | | | | | | | |

5. Аналогічні виміри зробіть і для інших значень R_1 , R_2 , C . Результати занесіть у таблиці, подібні табл. 1 та 2.

6. Розрахуйте постійну часу τ для цих випадків.

7. Розрахуйте відношення $\frac{t_{1/2}}{RC}$ і порівняйте результат з отриманим за формулою (3).

Контрольні питання

1. Доведіть, що добуток RC має розмірність часу.
2. Як залежить час зарядки і розрядки конденсатора від величин R і C ?
3. Чому в роботі не слід використовувати надто великі опори R і ємності C ?
4. Як змінюються заряд і напруга на обкладках конденсатора від часу в процесах його зарядки і розрядки?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. с. 392 – 397.

Лабораторна робота 27.10

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗГАСАЮЧИХ КОЛИВАНЬ

Прилади та обладнання: 1) касета ФПЕ-10; 2) перетворювач імпульсів (касета ФПЕ-ПІ); 3) електронний осцилограф; 4) генератор електромагнітних коливань звукової частоти; 5) магазини опорів та ємностей; 6) джерело живлення.

Мета роботи: 1) вивчення згасаючих коливань у коливальному контурі при різних величинах його активного опору контуру; 2) розрахунок логарифмічного декременту згасання та параметрів коливального контуру.

Опис приладу та теоретичні відомості

Принципова електрична схема лабораторної установки зображена на рис. 1. Прямокутний імпульс напруги надходить від перетворювача імпульсів (ПІ) на конденсатор C коливального контуру. Конденсатор заряджається практично миттєво, тому що опір кола заряджання малий. Потім конденсатор розряджається через опір R і котушку індуктивності L . Якщо $R < R_{\text{крит}}$, то у коливальному контурі виникають згасаючі коливання. При проходженні наступного імпульсу процеси заряджання та розряджання повторюються.

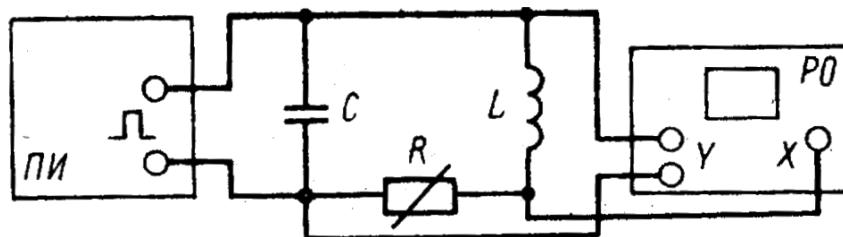


Рис.1

Напруга з конденсатора коливального контуру надходить на вхід Y електронного осцилографа PO . При увімкненій розгортці на екрані осцилографа можна

спостерігати за процесом згасання коливань. При $R \geq R_{\text{крит}}$ коливальний процес переходить у аперіодичний. У ряді випадків коливальний процес зручно вивчати у системі координат $I - U$, де I – струм у контурі, а U – напруга на конденсаторі.

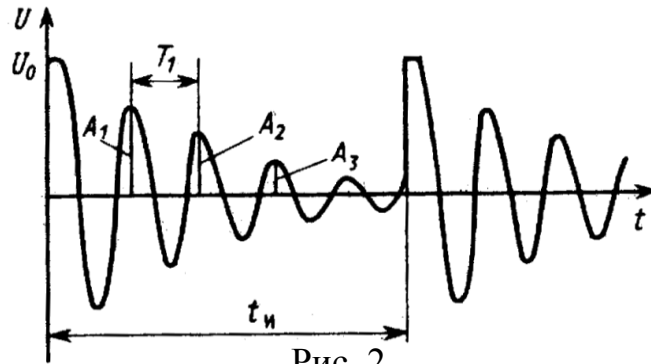


Рис. 2

Площу $I - U$ називають фазовою, і криву, яка зображує залежність сили струму від напруги, також називають фазовою.

Розглянемо, який вигляд буде мати фазова крива, якщо $R = 0$. У цьому випадку напруга на пластинах конденсатора змінюється за законом

$$U = U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi), \quad (1)$$

а сила струму у контурі –

$$I = -C \frac{dU}{dt} = CU_0 \omega_0 \sin(\omega_0 t + \varphi). \quad (2)$$

Якщо вилучити з рівнянь (1) та (2) час, то можна отримати рівняння фазової кривої вигляду

$$\left(\frac{U}{U_0}\right)^2 + \left(\frac{I}{CU_0 \omega_0}\right)^2 = 1. \quad (3)$$

Це буде рівняння еліпса. У разі згасаючих коливань амплітуди напруги та сили струму в контурі безперервно зменшуються, а фазова крива перетворюється у спіраль, яка безперервно наближається до фокуса 0 (рис. 3,а). При $R \geq R_{\text{крит}}$ коливальний процес у контурі припиняється і спіраль має вигляд кривої, як це видно на рис. 3,б.

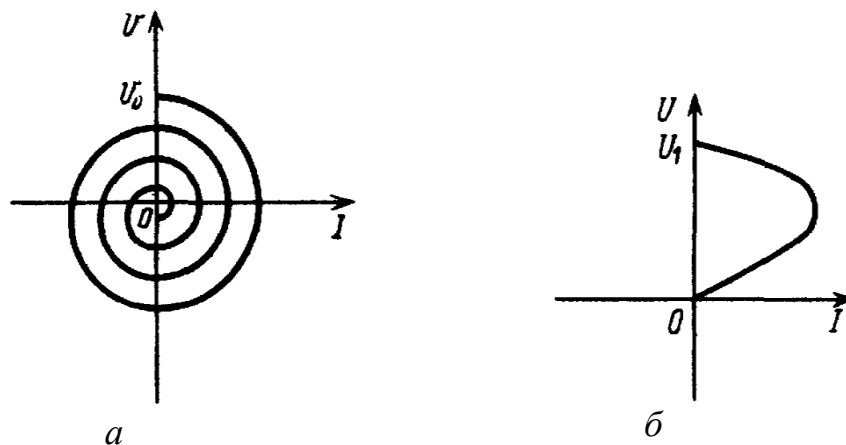


Рис. 3

Послідовність вимірювань

1. Зберіть схему установки відповідно до рис. 4.

2. Установіть на магазині опорів $R_1 = 100 \text{ Ом}$.
3. Натисніть на кнопки \square і "СКВАЖНОСТЬ – ГРУБО" на перетворювачі імпульсів.
4. Установіть такі значення параметрів вихідної напруги генератора PQ: частота 250 Гц, вихідна напруга не повинна бути більшою за 3 В.
5. Осцилограф підготуйте для спостереження сигналів, параметри яких наведені у п. 4.

Після перевірки схеми викладачем, починайте виконувати завдання роботи.

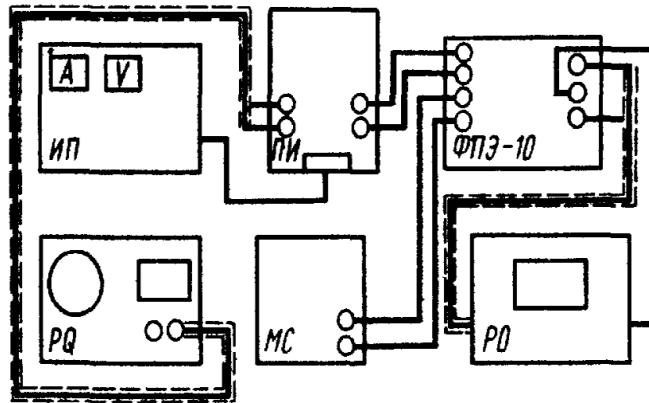


Рис. 4

Завдання 1. Вивчення згасаючих коливань з різними опором контуру

1. Підключіть лабораторний стенд і прилади до джерела живлення, установіть за шкалою вольтметра звукового генератора напругу 2 – 3 В, яка необхідна для роботи перетворювача імпульсів.

2. На екрані осцилографа отримайте стійку картину з одного – двох періодів згасаючих коливань (див. рис. 2). У разі необхідності змінійте частоту проходження імпульсів, повільно змінюючи частоту звукового генератора так, щоб згасання коливань було достатньо повним. Обертаючи ручку "СКВАЖНОСТЬ" перетворювача імпульсів, зробіть так, щоб спадання імпульсів не спотворювало криву першого періоду згасаючих коливань.

3. Визначіть у поділках сітки на екрані осцилографа період згасаючих коливань T_1 та відстань між сусідніми імпульсами t_i (див. рис. 2). Розрахуйте період згасаючих коливань у секундах за формулою

$$T = \frac{T_1}{t_i f}, \quad (4)$$

де f – частота звукового генератора.

4. Одержані результати занесіть у табл. 1.

Таблиця 1

| R_m | T | A_1 | A_2 | A_3 | λ | β | R_L | L | $R_{крит}$ |
|-------|-----|-------|-------|-------|-----------|---------|-------|-----|------------|
| | | | | | | | | | |

5. Визначіть у поділках сітки осцилографа амплітуди A_1, A_2, A_3 згасаючих коливань і запишіть їх значення у табл. 1. За формулою $\lambda = \ln \frac{A_1}{A_2}$ розрахуйте

логарифмічний декремент згасання λ для кожної пари значень амплітуд A . Знайдіть середнє значення $\lambda = \frac{(\lambda_1 + \lambda_2)}{2}$ і занесіть його у табл. 1.

6. Розрахуйте коефіцієнт згасання $\beta = \lambda/T$. Занесіть його у табл. 1.

7. Виконайте вимірювання і розрахунки (пп. 3 і 5) з іншими значеннями R_M ($R_M = 300, 500, 600$ Ом).

8. Виберіть такий опір магазину $R_{M_{крит}}$, при якому починається аперіодичне розрядження конденсатора. Запишіть його значення.

9. Побудуйте графік залежності логарифмічного декременту λ від R_M і продовжте його до перетину з віссю абсцис (рис. 5). Відрізок R_L дорівнює опору котушки коливального контуру.

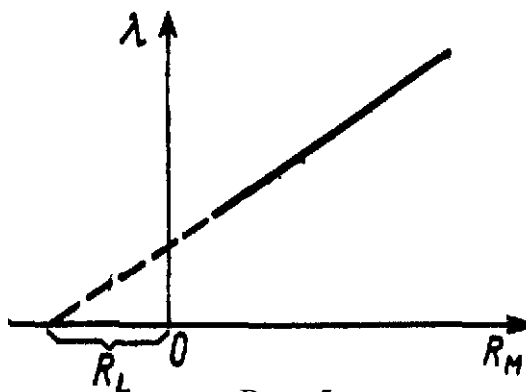


Рис. 5

Повний опір контуру $R = R_M + R_L$.

$$\lambda = \beta T = \frac{R_M + R_L}{2L} T. \quad (5)$$

10. Використовуючи дані табл. 1 і виразивши з формули (5) індуктивність котушки, розрахуйте її. Використовуючи значення ємностей конденсатора, які наведені на касеті ФПЕ-20, розрахуйте критичний опір $R_{крит}$ контуру за формулою

$$R_{крит} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Порівняйте розраховане з експериментальним значенням критичного опору, тобто

$$R_{кр_{екс}} = R_{M_{крит}} + R_L.$$

Завдання 2. Вимірювання логарифмічного декременту згасання за допомогою фазової кривої

1. На магазині опорів увімкніть опір $R_M = 100$ Ом.

2. Підключіть розгортку осцилографа і спостерігайте на екрані за фазовою кривою. Перемістіть фазову криву так, щоб фокус знаходився у центрі екрана.

3. Виміряйте за фазовою кривою напруги і сили струмів, які розділені періодом коливань, тобто відстані від фокуса фазової кривої до точок перетину витків спіралі з віссю напруги або сили струму. Вимірювання виконуйте у поділках сітки на екра-

ні осцилографа для трьох витків фазової кривої. Результати занесіть у табл. 2.

Таблиця 2

| R_M | U_1 | U_2 | U_3 | λ | I_1 | I_2 | I_3 | λ |
|-------|-------|-------|-------|-----------|-------|-------|-------|-----------|
| | | | | | | | | |

4. Здійсніть вимірювання (п. 3) при інших значеннях опорів магазина ($R_M = 200; 500 \text{ Ом}$). Для кожного значення R_M розрахуйте логарифмічний декремент згасання, результати запишіть у табл. 2.

5. Увімкніть $R_M \geq R_{\text{крит}}$. Накресліть фазову криву аперіодичного процесу.

6. Вимкніть прилади і лабораторний стенд.

Контрольні питання

1. У коливальному контурі за 1 с відбувається 100 коливань. Амплітуда коливань за цей час зменшується в $e = 2,72$ рази. Визначте логарифмічний декремент згасання.

2. Що являє собою критичний опір коливального контуру $R_{\text{крит}}$?

3. Який вигляд має залежність логарифмічного декременту згасання $\lambda = f(R)$, де R – опір коливального контуру?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. с. 389 – 392.

Лабораторна робота 27.11

ВИВЧЕННЯ ВИМУШЕНИХ КОЛИВАНЬ У КОЛИВАЛЬНОМУ КОНТУРІ

Прилади та обладнання: 1) касета ФПЕ-11; 2) магазин ємностей та опорів; 3) електронний осцилограф; 4) генератор електромагнітних коливань звукової частоти.

Мета роботи: 1) вивчення явища резонансу в коливальному контурі з послідовним приєднанням ємності та індуктивності.

Опис приладу та теоретичні відомості

У роботі вивчають залежність сили струму в коливальному контурі від частоти коливань джерела, а також проводять вимірювання резонансної частоти.

Принципова схема для вимірювань зображена на рис.1.

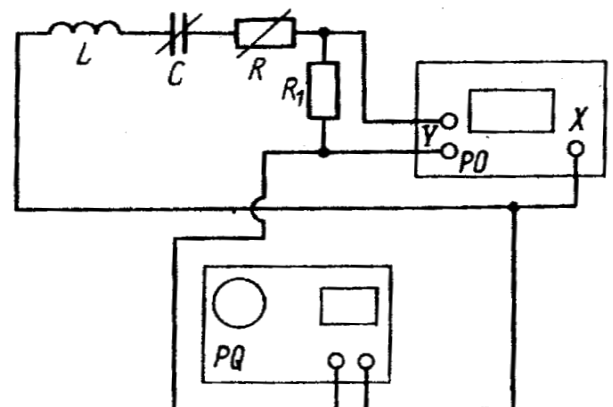


Рис. 1

Коливальний контур складається з котушки індуктивності L , конденсатора C та резисторів R і R_l . Роль джерела змінної електричної сили виконує звуковий генератор PQ , увімкнений у коливальний контур. Напряга на резисторі R_l пропорційна силі струму в контурі, надходить на вхід Y електронного осцилографа PO . Для одержання резонансних кривих вимірюють величину сигналу, який надходить на вхід Y осцилографа, залежно від частоти f вихідної напруги генератора.

Послідовність вимірювань

Блок – схема установки наведена на рис.2. Установка складається із звукового генератора PQ , осцилографа PO , магазинів ємностей ME і опорів MC , касети ФПЗ-11 з елементами схеми.

З'єднайте спеціальними кабелями прилади установки згідно з маркуванням на касеті ФПЗ-11 (рис.2).

1. Установіть у магазині опорів $R = 0$, а в магазині ємностей $C = 3 \cdot 10^{-3}$ мкФ.

2. Увімкніть розгортку осцилографа, установіть розгортку по X і підсилення по Y таким чином, щоб було можливо спостерігати сигнали напругою близько 1 В і частотою 2 – 20 кГц.

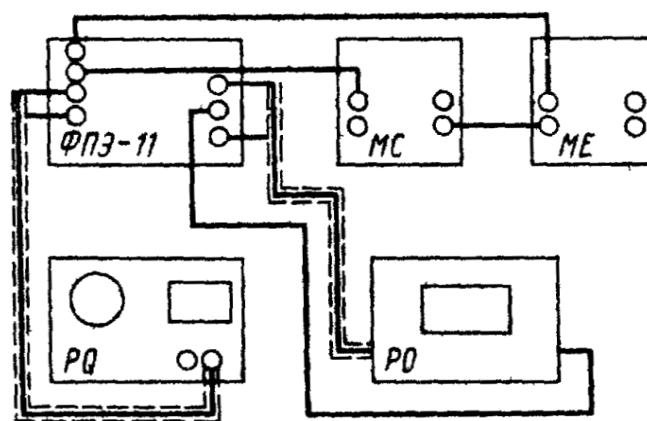


Рис. 2

Завдання 1. Отримання та дослідження резонансних кривих вимушених коливань

1. Після підключення лабораторного стенда і приладів до мережі, встановіть напругу генератора 1 В. У цьому завданні при всіх вимірюваннях напруга повинна бути незмінною.

2. Отримайте на екрані осцилографа стійке зображення декількох періодів синусоїдного сигналу. Визначте амплітуду цього сигналу в поділках сітки осцилографа і перерахуйте її у вольти. Результати занесіть у табл. 1.

3. Аналогічно вимірюйте амплітуди для інших частот у діапазоні 2 – 16 кГц. Частоту змінюйте з інтервалом 1–2 кГц, поблизу резонансу – з інтервалом 0,2 кГц. Результати вимірювань запишіть у табл. 1.

Таблиця 1

| | | |
|------------|------------|--|
| $R=0$ Ом | f , кГц | |
| | U_0 , В | |
| | I_0 , мА | |
| $R=500$ Ом | f , кГц | |
| | U_0 , В | |
| | I_0 , мА | |
| $R=3$ кОм | f , кГц | |
| | U_0 , В | |
| | I_0 , мА | |

4. Розрахуйте силу струму I_0 у коливальному контурі за формулою $I_0 = \frac{U_0}{R_I}$, $R_I = 76$ Ом. Розрахунок зробіть для кожного значення частоти. Результати занесіть у табл. 1 в міліамперах.
5. Установіть опір магазину $R = 500$ Ом і повторіть вимірювання (пп. 2–4). Результати вимірювань запишіть у табл. 1.
6. Установіть опір $R = 3$ кОм і повторіть вимірювання (пп. 2–4). Результати вимірювань занесіть у табл. 1.
7. Побудуйте на одному рисунку графіки залежностей I_0 від f .
8. На графіку при опорі $R = 0$ визначте резонансну частоту f_p та ширину Δf_p резонансної кривої на висоті $\frac{I_{0\max}}{\sqrt{2}}$. Розрахуйте добротність коливального контуру за формулою $Q = \frac{f_p}{\Delta f_p}$.

Завдання 2. Вимірювання резонансної частоти контуру за допомогою фігур Ліссажу

1. Установіть опір $R = 0$, ємність $C = 3 \cdot 10^{-3}$ мкФ.
2. Установіть перемикач „разв.” на панелі осцилографа в положення X. На екрані осцилографа спостерігайте еліпс. Змінюючи частоту звукового генератора, а у разі необхідності і підсилення каналу Y, спостерігайте за перетворенням еліпса у пряму лінію, яка розташована приблизно під кутом 45° до осі X. У цьому разі частота звукового генератора дорівнює резонансній.
3. Значення f_p і C занесіть у табл. 2.

Таблиця 2

| | |
|-------------|--|
| C , мкФ | |
| f_p , кГц | |

4. Вимірюйте f_p (пп. 2 – 3) для інших значень C від 2 до 10 мкФ з інтервалом 10^{-3} мкФ.

5. Розрахуйте значення $Z = \frac{1}{(2\pi f_p)^2}$, побудуйте графік залежності Z від C , який являє собою пряму лінію, що проходить через початок координат. При побудові графіка майте на увазі, що точність значень ємностей, які встановлюєте на магазині ємностей, складає 5%. Тому на графіку необхідно відзначити межі, де буде знаходитися величина C , як це зроблено на рис.3.

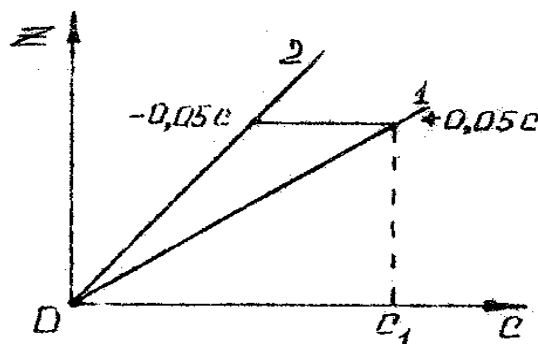


Рис.3

Потім проведіть пряму, яка не виходить за праву межу, (пряма 1), і пряму, яка не виходить за ліву межу (пряма 2). У цих межах повинна знаходитися істинна залежність Z від C .

6. Розрахуйте граничні значення індуктивності котушки як тангенса кута нахилу на графіку залежності $Z=f(C)$: $L = \frac{\Delta Z}{\Delta C}$. Тоді $\langle L \rangle = \frac{L_1 + L_2}{2}$, а похибка визначення індуктивності $\delta = \frac{\Delta L}{\langle L \rangle} = \frac{L_2 - L_1}{\langle L \rangle}$.

7. Використовуючи значення добротності контуру, яке дорівнює 1, і значення $\langle L \rangle$, розрахуйте опір контуру $R_{\text{кон}}$ за формулою

$$R_{\text{кон}} = \frac{1}{Q} \sqrt{\langle L \rangle C}$$

При виконанні завдання 1 $C = 3$ нФ, опір магазину $R = 0$, а тому при обчисленні величин $R_{\text{кон}}$ містить у собі опір котушки і вихідний опір генератора звукової частоти.

Контрольні питання

1. Сформулюйте умови резонансу.
2. Що називається добротністю контуру?
3. Як на екрані осцилографа можна спостерігати за фігурами Ліссажу?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. с. 392 – 397.

Лабораторна робота 27.12

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЛАКСАЦІЙНИХ КОЛИВАНЬ

Прилади та обладнання: 1) касета ФПЕ-12; 2) магазини опорів і ємностей; 3) джерело живлення; 4) генератор електромагнітних коливань звукової частоти; 5) електронний осцилограф; 6) цифровий міліамперметр.

Мета роботи: 1) вивчення принципу роботи релаксаційного генератора на неоновій лампі; 2) вимірювання періоду релаксаційних коливань з різними значеннями опору й ємності.

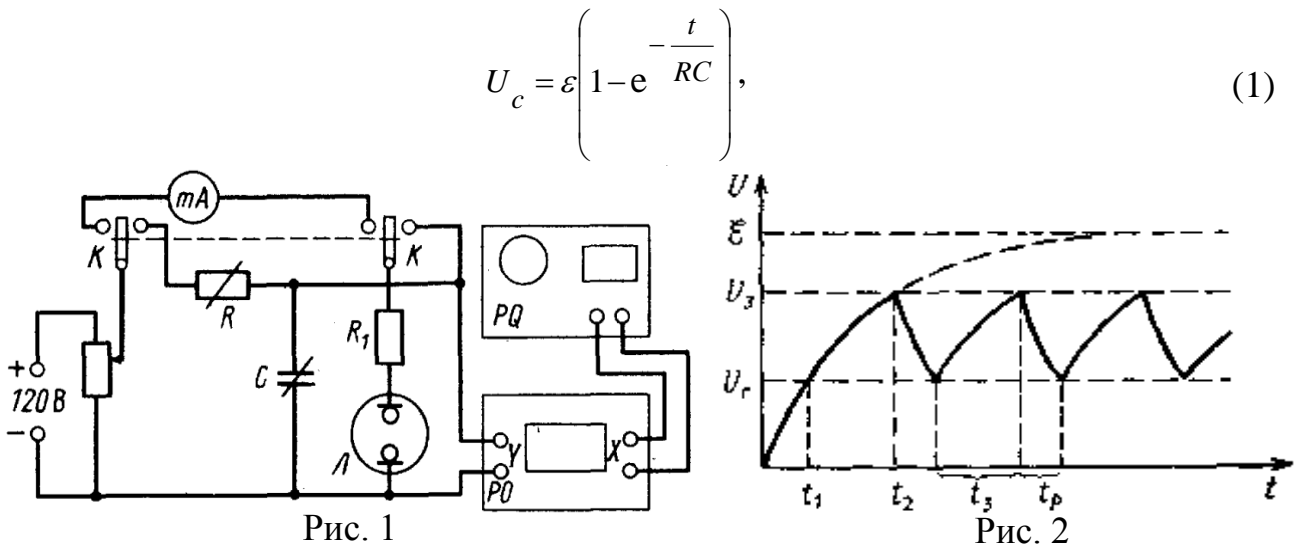
Опис приладу та теоретичні відомості

Релаксація – самочинний (спонтанний) процес переходу системи у стійкий зрівноважений стан. Мірою швидкості релаксації є час релаксації – проміжок часу, за

який відхилення якогось параметра системи від зрівноваженого значення зменшується у "е" разів.

Розглянемо принцип роботи генератора релаксаційних коливань, схема якого зображена на рис. 1. Опір R повинен бути достатньо великим, а електро рушійна сила ε батареї більшою напруги запалювання розряду через неонову лампу.

Якби неонові лампи не було, то напруга на обкладках конденсатора збільшувалась із бігом часу відповідно пунктирній лінії (рис. 2) і наближувалася б асимптотично до значення EPC джерела струму ε .



За наявності неонові лампи напруга в ній також буде збільшуватися за експоненціальним законом (1). Опір незапаленої лампи значно більший опору R , тому силою струму несамотійного розряду можна знехтувати. При досягненні на електродах лампи напруги $U = U_3$ (напруги запалювання), вона спалахне, її опір спаде до $R_L \ll R$ і конденсатор буде швидко розряджатися за законом

$$U_c = \varepsilon \cdot e^{-\frac{t}{R_L C}}. \quad (2)$$

При $U = U_2$ (U_2 – напруга гасіння) лампа згасне і перестане пропускати струм. З цього моменту знову почнеться зарядка конденсатора. Релаксаційний процес буде відбуватися періодично. Тоді коливання напруги на обкладках конденсатора U_c відбувається так, як це зображено на рис. 2. Оскільки опір R вибирають значно більшим, ніж опір запаленої лампи, то час розрядки конденсатора значно менший, ніж час зарядки. Отже, можна вважати, що період релаксаційних коливань $T \approx t_{зар}$.

Послідовність вимірювань

1. Зберіть схему установки згідно з рис. 3.

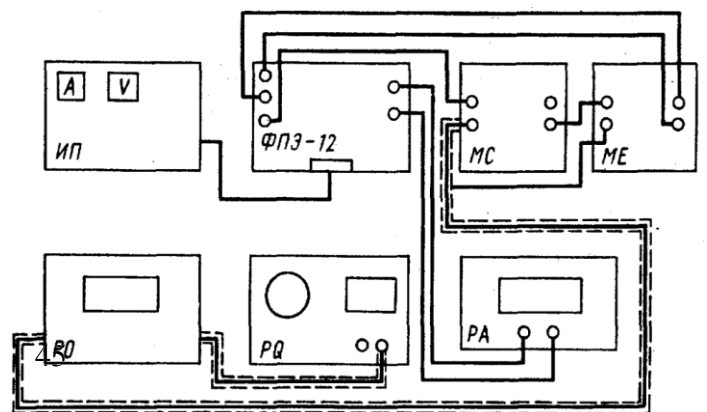


Рис. 3

Осцилограф приєднайте до схеми спеціальним кабелем, який підвищує вхідний опір до 10 МОм.

2. Установіть опір $R = 1 \text{ МОм}$ і ємність $C = 3 \text{ мкФ}$ відповідно на магазинах опорів і ємностей.

3. Установіть такі значення параметрів вихідної напруги звукового генератора: частота 20 кГц, вихідна напруга 3 В.

4. Вимірювальний прилад РА підготуйте для виміру сили струму до 10 мА.

5. Ручку регулювання напруги 120 В джерела струму встановіть у крайнє ліве положення. Після перевірки схеми викладачем, починайте виконувати роботу.

Завдання 1. Вимірювання напруг запалювання і гасіння газорозрядної лампи

1. Увімкніть лабораторний стенд, джерело струму та вимірювальний прилад РА. При виконанні цього завдання кнопка “РЕЖИМ” касети ФПЕ-12 повинна бути у відтиснутому положенні.

2. Отримайте залежність сили струму I_{np} від напруги, яку треба збільшувати від 40 до 120 В через 10 В. Дані вимірювань занесіть у таблиці.

3. Отримайте залежність сили струму $I_{звор}$ від напруги, яку тепер треба зменшувати від 120 до 40 В. Результат занесіть у таблицю. Побудуйте вольт-амперну характеристику неонові лампи.

Таблиця 1

| $U, \text{ В}$ | 40 | 50 | 60 | ... | 100 | 110 | 120 |
|------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| $I_{np}, \text{ мА}$ | | | | | | | |
| $I_{звор}, \text{ мА}$ | | | | | | | |

4. Визначіть напруги запалювання і гасіння лампи. Для цього виберіть із таблиці інтервал напруг, у якому лампа засвітилася (згасла). У цьому інтервалі, поступово збільшуючи (зменшуючи) напругу через 1 – 2 В, виберіть таку напругу, при якій сила струму стрибком збільшується від нуля до якогось значення (або стрибком зменшиться до нуля). Запишіть значення напруг запалювання та гасіння.

5. Натисніть кнопку “РЕЖИМ” касети ФПЕ-12; прибор РА від’єднайте від схеми.

Завдання 2. Вивчення принципу роботи генератора релаксаційних коливань

1. Увімкніть осцилограф та звуковий генератор.

2. Включіть генератор внутрішньої розгортки осцилографа. Коефіцієнт підсилення по осі У установіть таким, щоб можна було вимірювати напругу до 10 В.

3. Увімкніть джерело живлення; установіть ручкою регулювання напруги джерела живлення напругу 110 В, яку надалі підтримуйте незмінною.

4. Отримайте на екрані осцилографа стійку картину релаксаційних коливань. Частоту розгортки підберіть таку, щоб на екрані можна було спостерігати 1 – 2 періоди релаксаційних коливань.

5. Визначіть час зарядки конденсатора $t_{зар}$, який відповідає періоду релаксаційних коливань $T \approx t_{зар}$.

6. Вимкніть генератор розгортки осцилографа.

7. Плавню змінюючи частоту вихідного сигналу генератора, отримайте на екрані нерухому фігуру, яка відповідає співвідношенню 1:1 частот, які складаються. За формулою $T = \frac{1}{f}$ розрахуйте період релаксаційних коливань.

8. Поступово змінюючи частоту генератора, спостерігайте на екрані за фігурами, які є результатом складання коливань. Накресліть криві, які відповідають співвідношенню частот 1: 2, 1: 3 і т. д.

Контрольні питання

1. Поясніть роботу генератора релаксаційних коливань.
2. Як змінюється за часом напруга на конденсаторі генератора релаксаційних коливань?
3. Як можна визначити період релаксаційних коливань? Опишіть два методи.

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. – с. 401.

Лабораторна робота 27.13

ДОСЛІДЖЕННЯ ОБМІНУ ЕНЕРГІЄЮ КОЛИВАНЬ У ЗВ'ЯЗАНИХ КОНТУРАХ

Прилади та обладнання: 1) касета ФПЕ-13; 2) магазин ємностей; 3) електронний осцилограф; 4) генератор електромагнітних коливань звукової частоти; 5) джерело живлення.

Мета роботи – визначення: 1) частоти обміну енергією між контурами залежно від ємності конденсатора зв'язку; 2) опору зв'язаних контурів за згасанням биття.

Опис приладу та теоретичні відомості

Метою цієї лабораторної роботи є практичне дослідження обміну енергією у зв'язаних контурах. Такими є два однакових коливальних контури, які мають котушку індуктивності L , конденсатор ємністю C і резистор R з невеликим опором, з'єднаних між собою ємнісим зв'язком (конденсатор C_{12}).

Принципова схема установки зображена на рис.1.

Імпульс від перетворювача імпульсів (ПІ) збуджує коливання у пер-

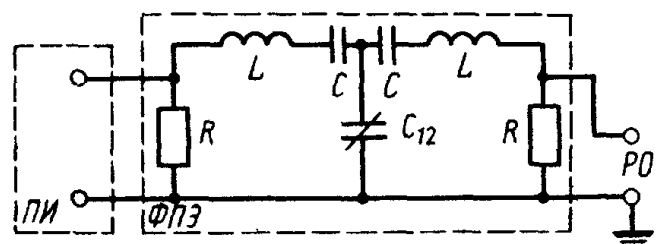


Рис. 1

шому контурі. Через ємність зв'язку $C_{12} \gg C$ (слабкий зв'язок) відбувається передача енергії коливальних контурів в контур 2 і назад в контур 1. Напруга з резистора R другого контуру, пропорційна силі струму I_2 , подається на вхід Y електронного осцилографа, на екрані якого можна спостерігати за згасанням биття (рис. 2,б).

Наступний імпульс Π збуджує нові коливання, і всі процеси повторюються. При належному підборі частоти проходження імпульсів спостерігається майже повне згасання коливальних контурів. Швидкість згасання залежить від опору контуру. Натуральний логарифм двох сусідніх амплітуд биття, розділених деяким проміжком часу $t_{обм}$:

$$\ln \frac{A_1}{A_2} = \ln \frac{\xi_0 e^{-\beta t}}{\xi_0 e^{-\beta(t_1+t_{обм})}} = \beta t_{обм}, \quad (1)$$

де $\beta = \frac{R}{2L}$, а $t_{обм} = \frac{4\pi LC_{12}}{T}$.

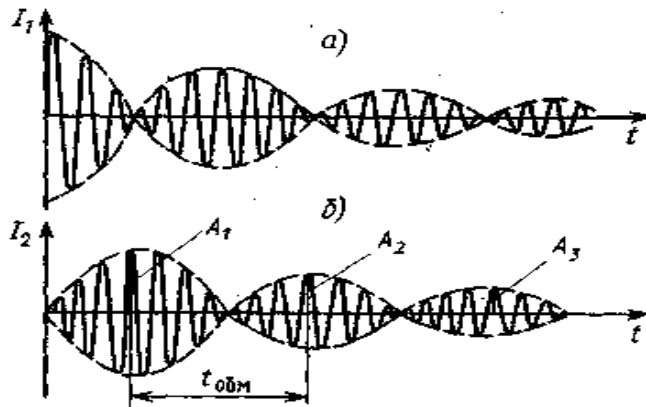


Рис. 2

Звідки

$$\ln \frac{A_1}{A_2} = \frac{2\pi^2 RC_{12}}{T}. \quad (2)$$

При малому згасанні та слабкому зв'язку $\frac{t_{обм}}{T} = \frac{C_{12}}{C}$;

$$\ln \frac{A_1}{A_2} = \frac{2\pi^2 RC_{12}}{t_{обм} C}. \quad (3)$$

Послідовність вимірювань

З'єднати спеціальними кабелями прилади установки згідно з маркуванням на касеті ФПЗ-13 (рис. 3).

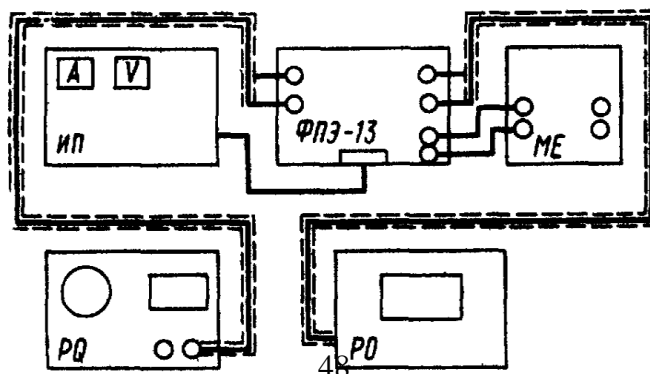


Рис. 3

Підготовка приладів до роботи.

1. Установіть такі параметри вихідної напруги звукового генератора: частота 200 Гц, вихідна напруга не повинна перебільшувати 3 В.

2. На осцилографі встановіть час розгортки, необхідний для спостереження за першим періодом змінної напруги звукового генератора.

Завдання 1. Вивчення биття у зв'язаних контурах з різними ємностями зв'язку

1. Установіть ємність магазину ємностей $4 \cdot 10^{-2}$ мкФ.

2. На екрані осцилографа отримайте стійку картину биття в контурі 2 (рис. 2,б). При необхідності можна змінювати частоту розгортки та частоту проходження імпульсів, змінюючи частоту сигналу звукового генератора.

3. Підрахуйте число N повних коливань, які вміщуються між двома сусідніми мінімумами. Дані занесіть у таблицю.

| | | | | | | | |
|-----------|--|--|--|--|--|--|--|
| C_{12} | | | | | | | |
| N | | | | | | | |
| C , мкФ | | | | | | | |

4. Проведіть вимірювання (пп. 2 – 3) з іншими ємностями в межах від $4 \cdot 10^{-2}$ до 0,4 мкФ. Результати занесіть у таблицю.

5. За формулою $C = \frac{T \cdot C_{12}}{t_{обм}} = \frac{C_{12}}{N}$ обчисліть ємність коливального контуру для всіх вимірів. Знайдіть середнє значення і порівняйте його з істинним значенням, яке зазначене на касеті.

Завдання 2. Вимірювання опору зв'язаних контурів із згасанням биття

1. Установіть ємність магазину ємностей $C = 4 \cdot 10^{-2}$ мкФ.

2. Спостерігайте на екрані осцилографа стійку картину биття (див. рис. 2,б).

3. Вимірюйте у поділках сітки на екрані осцилографа амплітуди трьох сусідніх максимумів биття A_1, A_2, A_3 .

4. У поділках сітки осцилографа вимірюйте час $t_{обм}$ та, користуючись коефіцієнтом розгортки, перерахуйте його в секунди.

5. Обчисліть загальний опір коливального контуру за формулою (3) для кожної пари значень A . При обчисленні використовуйте значення ємності C , отримані в завданні 1. Знайдіть середнє значення опору R .

Контрольні питання

1. Які коливальні контури називаються зв'язаними?
2. Які типи зв'язку існують?

Література

1. Кучерук І.М., Горбачук І.Т., Луцик П.П. Загальний курс фізики. – К.: Техніка, 2001. – Т.2. с. 392 – 397.

Барташевська Людмила Іванівна
Зайцев Анатолій Семенович
Мандрікевич Василь Миколайович
Морозова Тамара Володимирівна
Чернай Анатолій Володимирович

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З РОЗДІЛУ “ЕЛЕКТРОДИНАМІКА” ЧАСТИНА II
З ДІСЦИПЛІНИ “ФІЗИКА”
ДЛЯ СТУДЕНТІВ УСІХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ І НАПРЯМКІВ

Редактор

Підписано до друку Формат 30x42/4.
Папір офсетний. Ризографія. Ум. друк. арк.
Обл.-вид. арк. Тираж 150 прим. Зам. №

Національний гірничий університет
49005, м. Дніпропетровськ, просп. К.Маркса, 19