



**Некоммерческое  
акционерное  
общество**

**АЛМАТИНСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ**

Кафедра физики

## **КОЛЕБАНИЯ**

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
для студентов всех специальностей

Алматы 2015

## Введение

Настоящие методические указания содержат описания лабораторных работ раздела «Колебания» и посвящены изучению свойств и характеристик колебательных процессов (механических и электрических), сложению колебаний. Эти вопросы находят широкое применение в практике решения многих научных и инженерных задач. Методические указания смогут оказать помощь в самостоятельной работе студентам при подготовке к лабораторному практикуму.

В описании каждой работы выделены цели и задачи, изложена методика работы (ее основное физическое содержание), порядок проведения эксперимента и требования к отчету. Без усвоения методики данной работы, ее целей и задач нельзя приступать к ее выполнению. Внимательное ознакомление с описанием экспериментальной установки и порядком выполнения работы позволит студенту правильно и быстро выполнить работу, обработать результаты измерений и соответствующим образом оформить отчет, сформулировать выводы. Методические указания содержат список учебной и методической литературы.

# 1 Лабораторная работа ЭМК – 17. Изучение сложения колебаний с помощью осциллографа

**Цель работы:** экспериментальное исследование процесса сложения гармонических колебаний одинакового и взаимно перпендикулярных направлений.

## Задачи:

- проверить экспериментально основные формулы, характеризующие результат сложения колебаний одинакового направления;
- провести наблюдение траекторий движения, получающихся в результате сложения перпендикулярных колебаний, определить характеристики складываемых колебаний.

## 1.1 Методика работы

Периодические процессы любой формы (в том числе и вращательное движение) могут быть представлены как результат сложения нескольких гармонических колебаний. При этом существенное значение имеет направление колебаний, их частоты и начальные фазы, а так же амплитуды.

В данной работе исследуется сложение гармонических колебаний с помощью осциллографа. Для получения колебаний используется схема на рисунке 1.1.

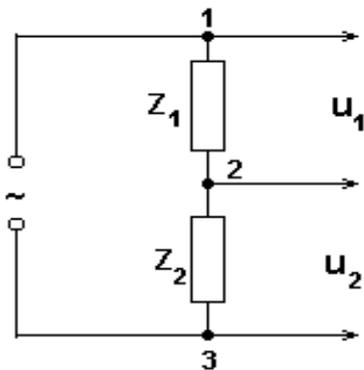


Рисунок 1.1

Через последовательно соединенные нагрузки  $Z_1$  и  $Z_2$  протекает переменный ток частоты  $\nu=50$  Гц (от сети), изменяющийся по гармоническому закону  $I = I_0 \cos \omega t$ .

Тогда напряжения  $u_1$  и  $u_2$  на нагрузках также изменяются по гармоническому закону с той же частотой  $\omega$ , а начальные фазы и амплитуды этих колебаний зависят от вида нагрузки

$$\begin{aligned} u_1 &= u_{01} \cos(\omega t + \varphi_1), \\ u_2 &= u_{02} \cos(\omega t + \varphi_2). \end{aligned} \quad (1.1)$$

В случае, когда обе нагрузки представляют собой активное сопротивление ( $\varphi_1 = \varphi_2 = 0$ ), то напряжения  $u_1$ ,  $u_2$  представляют собой колебания одинаковой частоты с разностью фаз, равной нулю. Если в качестве одной из нагрузок включить конденсатор, то напряжение  $u_2$  будет отставать от  $u_1$  по фазе на  $\pi/2$  ( $\varphi_1 = 0; \varphi_2 = -\frac{\pi}{2}$ ). Последовательное соединение  $R$  и  $C$  в качестве одной из нагрузок даст сдвиг фазы одного напряжения по отношению к другому на  $0 < \varphi < \frac{\pi}{2}$ . Таким образом, схема рисунка 1.1 позволяет получить колебания

одинаковой частоты с различными начальными фазами и амплитудами  $u_{10}$ ,  $u_{20}$ .

Для получения колебаний иной частоты в работе используется звуковой генератор. Эти колебания, будучи поданы на отклоняющие пластины осциллографа, преобразуется в механические колебания электронного луча, след которого мы видим на экране. При этом мы можем задавать нужное нам направление колебаний по оси  $x$ , если подать напряжение на горизонтально отклоняющие пластины, или по оси  $Y$  (напряжение подается на вертикально отклоняющие пластины).

## 1.2 Описание экспериментальной установки

Экспериментальная установка включает в себя стенд, в котором имеется источник питания, различные виды нагрузок (активная -  $R$ , реактивная - конденсатор  $C$ ), генератор звуковой частоты, осциллограф. Перед выполнением работы необходимо ознакомиться с назначением всех элементов стенда, изучить инструкцию по работе с осциллографом.

## 1.3 Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

1.3.1 Сложение колебаний одинакового направления одинаковой частоты.

1.3.1.1 Собрать схему согласно рисунку 1.2-а. Нагрузка - активные сопротивления  $R_1$  и  $R_2$ .

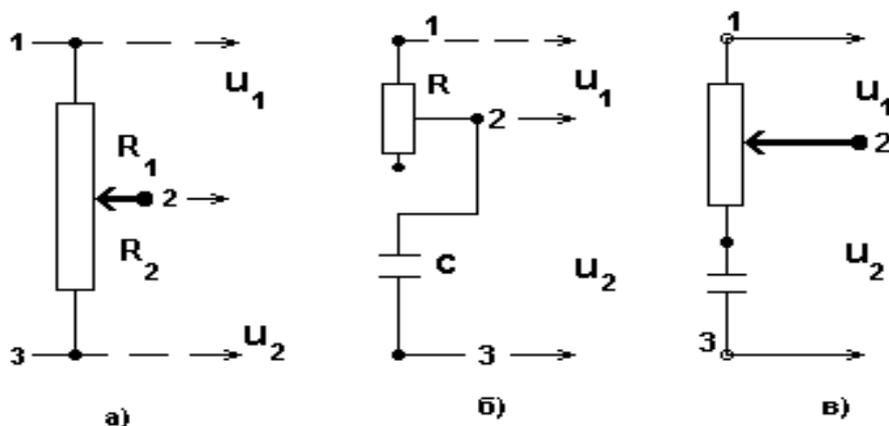


Рисунок 1.2

1.3.1.2 Подавая на вход  $Y$  осциллографа поочередно исследуемые колебания  $u_1$  и  $u_2$ , а также результирующие  $u = u_1 + u_2$ , измерить амплитуды этих колебаний по отклонению луча на экране осциллографа (длина линии на экране равна удвоенному значению амплитуды). Сравнить опытные данные с теоретическим значением  $u_0$ , вычисленным по формуле:

$$u_0 = \sqrt{u_{01}^2 + u_{02}^2 + 2u_{01}u_{02} \cos(\Delta\varphi)}, \quad (1.2)$$

где  $\Delta\varphi$  - разность фаз складываемых колебаний.

1.3.1.3 Повторить п.1.3.1.2 для других положений движка потенциометра.

1.3.1.4 Отключить схему и заново собрать ее, используя вариант (б) рисунка 1.2. Вновь включить и повторить измерения п.п. 1.3.1.2 и 1.3.1.3. Все данные занести в таблицу 1.1.

Т а б л и ц а 1 . 1

№ опыта	Разность фаз $\Delta\varphi$	$u_{01}$ , дел	$u_{02}$ , дел	$u_0$ , дел	$u_0$ , дел теоретич.
1					
2					
3					
4					
5					
6					

1.3.2 Сложение взаимноперпендикулярных колебаний одинаковой частоты.

1.3.2.1 Собрать схему рисунка 1.2-в. Напряжение  $u_1$  подать на вход X, а напряжение  $u_2$  - на вход Y. В этом случае на экране осциллографа наблюдается эллипс, угол наклона большой полуоси которого к оси X зависит от разности фаз складываемых колебаний  $\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$ .

Из уравнения траектории (эллипса) следует, что координаты  $y_0$  и  $x_0$  пересечения эллипса с осями Y и X соответственно и амплитуды  $u_{01}$  и  $u_{02}$  связаны с разностью фаз колебаний соотношениями (1.3)

$$\frac{y_0}{u_{02}} = \sin(\varphi_2 - \varphi_1),$$

$$\frac{x_0}{u_{01}} = \sin(\varphi_2 - \varphi_1). \quad (1.3)$$

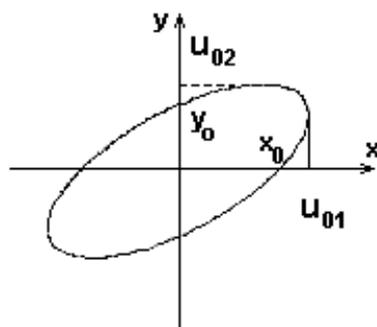


Рисунок 1.3

1.3.2.2 Измерить амплитуды  $u_{01}$  и  $u_{02}$  и координаты  $x_0$ ,  $y_0$  точек пересечения эллипса с осями X и Y для нескольких положений движка потенциометра рисунок (1.3). Определить разность фаз складываемых колебаний. Результаты занести в таблицу 1.2.

Т а б л и ц а 1 . 2

Положение движка	$u_{01}$ , дел	$x_0$ , дел	$\sin \varphi$	$u_{02}$ , дел	$y_0$ , дел	$\sin \varphi$	$\langle \sin \varphi \rangle$	$\varphi$
1								
2								
3								

1.3.3 Сложение взаимноперпендикулярных колебаний различных частот.

1.3.3.1 На вход Y осциллографа подать напряжение от звукового генератора (вместо  $u_2$ ). Вращением ручки «установка частоты» на звуковом генераторе добиться устойчивой картины на экране осциллографа. Зарисовать наблюдаемую фигуру.

1.3.3.2 Определить частоту колебаний, подаваемых от генератора, зная частоту колебаний, подаваемых от сети ( $\nu=50$  Гц). Для этого определить число пересечений полученной фигуры с осью X -  $n_x$  и с осью Y -  $n_y$  (рисунок 1.4-пример)

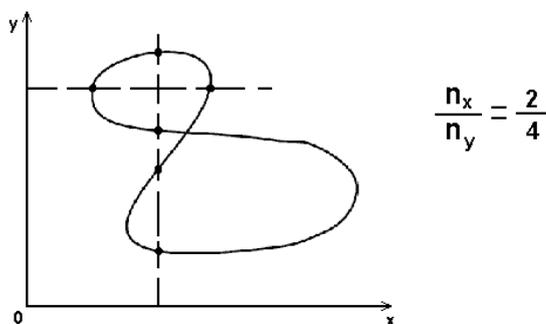


Рисунок 1.4

Рассчитать частоту исследуемого сигнала по формуле:

$$\frac{\nu_x}{\nu_y} = \frac{n_y}{n_x}; \quad \nu_y = \nu_x \frac{n_x}{n_y}.$$

1.3.3.3 Повторить измерения для других частот.

1.3.3.4 Систематизировать и обобщить полученные результаты: какие случаи из возможных результатов сложения колебаний Вы наблюдали, что осталось за пределами эксперимента?

## 1.4 Контрольные вопросы

1.4.1 Какие колебания называются гармоническими? Дайте определение их основных характеристик.

1.4.2 Запишите дифференциальное уравнение гармонических колебаний и его решение.

1.4.3 Как представляются гармонические колебания с помощью векторной диаграммы?

1.4.4 В каких случаях при сложении двух гармонических колебаний вновь получается гармоническое колебание? Чему равны его амплитуда и начальная фаза?

1.4.5 Какие фигуры возникают при сложении двух взаимно-перпендикулярных колебаний с одинаковыми частотами? От чего и как зависит форма этих кривых?

1.4.6 Выведите уравнение эллипса, получаемого в результате сложения взаимно перпендикулярных колебаний.

1.4.7 Как по виду фигур Лиссажу можно определить соотношение частот?

1.4.8 Какую роль играет осциллограф в данной работе?

## 2 Лабораторная работа ЭМК - 18. Изучение свободных затухающих колебаний в колебательном контуре

**Цель работы:** экспериментальное исследование затухающих электромагнитных колебаний.

### Задачи:

- изучить процесс возникновения колебаний в колебательном контуре;
- определить характеристики колебаний - период, логарифмический декремент затухания, критическое сопротивление контура.

### 2.1 Методика работы и описание экспериментальной установки

Электрические колебания могут возникать в цепях, содержащих индуктивность и емкость. Такая цепь называется колебательным контуром.

Уравнение затухающих колебаний (для заряда на конденсаторе) имеет вид

$$q = q_{m0} e^{-\beta t} \cos(\omega t + \alpha), \quad (2.1)$$

где  $q_{m0}$  и  $\alpha$  - постоянные, определяемые из начальных условий;

$\omega$  - частота свободных затухающих колебаний, равная

$$\omega = \sqrt{\omega_0^2 - \beta^2} = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}, \quad (2.2)$$

где  $\beta$  - коэффициент затухания, равный

$$\beta = \frac{R}{2L}. \quad (2.3)$$

Зависимости силы тока и напряжения от времени на элементах контура имеют вид, аналогичный (2.1), отличаясь друг от друга амплитудами и начальными фазами.

Из (2.1) видно, что затухающие колебания можно считать гармоническими с амплитудой  $A(t) = q_{mo} e^{-\beta t}$ , убывающей с течением времени по экспоненциальному закону.

Основными характеристиками затухающих колебаний являются:

- период (или частота) колебаний  $T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}}$ .

В случае слабого затухания  $\beta^2 \ll \omega_0^2$  период затухающих колебаний  $T$  можно считать равным периоду свободных незатухающих колебаний  $T_0$

$$T \approx T_0 = 2\pi\sqrt{LC}; \quad (2.4)$$

- логарифмический декремент затухания  $\lambda$

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)} = \beta T; \quad (2.5)$$

- критическое сопротивление контура  $R_{кр}$ . При  $\beta^2 \geq \omega_0^2$  колебания в контуре не возникают, происходит апериодический разряд конденсатора.

$$R_{кр} = 2\sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (2.6)$$

Экспериментальное исследование затухающих колебаний осуществляется в данной работе при помощи электронного осциллографа. Схема электрической части установки приведена на рисунке 2.1.

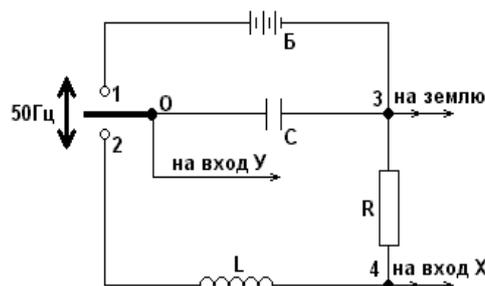


Рисунок 2.1

Простой колебательный контур состоит из конденсатора емкостью  $C$ , катушки индуктивности  $L$  и активного сопротивления  $R$ . Конденсатор с помощью реле (на схеме не показано) автоматически подключается то к клемме 1 (идет зарядка конденсатора от источника постоянного напряжения Б), то к

клемме 2 (в контуре происходят свободные колебания). Такое переключение осуществляется с частотой 50 Гц. Если на вертикально отклоняющие пластины осциллографа (вход  $Y$ ) подать напряжение  $U_c$  с конденсатора, а на горизонтально отклоняющие пластины - напряжение от генератора развертки, синхронизировав его частоту с частотой переключения реле, то на экране будет наблюдаться осциллограмма зависимости  $U_c$  от времени  $t$ . Ее вид представлен на рисунке 2.2.

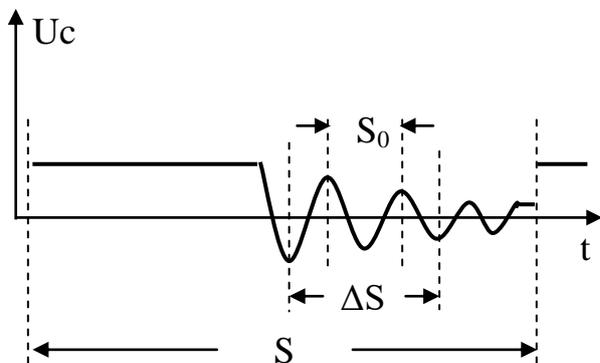


Рисунок 2.2

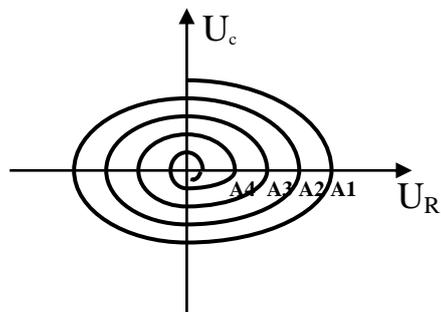


Рисунок 2.3

Из этой осциллограммы можно определить период колебаний. Для этого достаточно измерить длину отрезка  $S_0$  осциллограммы, соответствующего одному полному колебанию. При этом необходимо учесть, что за промежутки времени  $\tau = 0,02$  с (переключение реле из 1-2-1) происходит зарядка конденсатора и все наблюдаемые колебания (до следующей зарядки). Следовательно, временному интервалу  $\tau$  соответствует на осциллограмме отрезок  $S$ . Составив простую пропорцию, получим расчетную формулу для периода колебаний  $T$ :

$$T = \tau \frac{S_0}{S} = 0,02 \frac{S_0}{S}. \quad (2.7)$$

Для определения логарифмического декремента затухания целесообразно получить на экране осциллографа другую осциллограмму - фазовую кривую. Для этого нужно выключить генератор развертки, а на горизонтально отклоняющие пластины (вход  $x$ ) подать напряжение  $U_R$  с активного сопротивления  $R$ . При этом мы будем наблюдать результат сложения взаимноперпендикулярных колебаний  $U_c$  и  $U_R$ , происходящих с одинаковой частотой и разностью фаз  $\pi/2$  (рисунок 2.3). Если затухание отсутствует, то фазовая кривая представляет собой эллипс. При наличии затухания амплитуда колебаний уменьшается со временем, что приводит к более сложной форме фазовой кривой - скручивающейся спирали. Измеряя по осциллограмме фазовой кривой значения последовательных амплитуд  $A_1, A_2, A_3$ , и т.д., можно определить логарифмический декремент затухания (2.5).

## 2.2 Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

2.2.1 Собрать схему (рисунок 2.1), подсоединив точки 0, 3, 4 контура к соответствующим клеммам осциллографа. Включить стенд и осциллограф.

2.2.2 Исследовать осциллограммы затухающих колебаний. Для этого: а) включить генератор развертки осциллографа и, изменяя частоту развертки, добиться получения на экране устойчивой картины; б) меняя R и C, проследить за характером изменения затухающих колебаний (значения R задавать в пределах, указанных на стенде установки); описать наблюдаемые изменения характера колебаний.

2.2.3 По полученным осциллограммам определить период колебания (2.7) для двух-трех значений емкости конденсатора. Для уменьшения погрешности в измерении отрезков  $S_0$ , следует измерить интервал  $\Delta S$  нескольких полных колебаний и найти  $S_0$ :  $S_0 = \frac{\Delta S}{n}$ , где n - число колебаний.

2.2.4 Рассчитать теоретическое значение периода колебаний для всех значений C (индуктивность контура во всех случаях одинакова). Все данные занести в таблицу 2.1.

Таблица 2.1

№ опыта	C, мкФ	L, Гн	S, мм	$\Delta S$ , мм	n	$S_0$ , мм	T, с	$T_{\text{теор}}$ , с
1								
2								
3								

2.2.5 Исследовать фазовые кривые. Для этого выключить генератор развертки осциллографа. Регулируя вертикальное и горизонтальное усиление, добиться четкой осциллограммы.

2.2.6 Определить величину критического сопротивления контура  $R_{\text{кр}}$ , при котором наступает апериодический процесс. Зарисовать осциллограммы для нескольких значений R включая  $R_{\text{кр}}$ . Сравнить полученное значение  $R_{\text{кр}}$  с теоретическим, рассчитанным по (2.6).

2.2.7 Для каждой из наблюдаемых осциллограмм (при различных R) измерить значения нескольких последовательных амплитуд  $A_1, A_2, A_3, \dots$ , и определить по (2.5) экспериментальное и теоретическое значение логарифмического декремента затухания.

2.2.8 Все данные свести в таблицу 2.2.

2.2.9 Описать влияние параметров контура на основные характеристики колебаний, сделать выводы из сравнения экспериментальных и теоретически полученных данных.

Примечание - при вычислении теоретических значений  $R_{кр}$  и  $\lambda$  необходимо иметь в виду, что полное сопротивление контура складывается из сопротивления магазина  $R$  и активного сопротивления катушки  $R_L$ , значение которого указано на стенде.

Т а б л и ц а 2 . 2

Параметры контура	R, Ом	Значения амплитуд, делений шкалы	$\lambda = \ln \frac{A_i}{A_{i+1}}$	$\langle \lambda \rangle$	$\beta = \frac{R}{2L}$	$\lambda_{теор} = \beta T$
L= Гн C= мкФ	R <sub>1</sub>	A <sub>1</sub> A <sub>2</sub> A <sub>3</sub> A <sub>4</sub> ...	$\lambda_1$ $\lambda_2$ $\lambda_3$			
	R <sub>2</sub>		$\lambda_1$ $\lambda_2$ $\lambda_3$			

### 2.3 Контрольные вопросы

2.3.1 Что представляет собой простой колебательный контур? Как возникают в нем незатухающие или затухающие колебания?

2.3.2 Уравнение и график затухающих колебаний. Что понимают под амплитудой затухающих колебаний?

2.3.3 Являются ли затухающие колебания гармоническими?

2.3.4 Вывести дифференциальное уравнение затухающих колебаний и пояснить смысл каждого слагаемого в уравнениях.

2.3.5 Решить дифференциальное уравнение затухающих колебаний, получить выражение для частоты затухающих колебаний. Как зависит эта частота от L?

2.3.6 Решив дифференциальное уравнение затухающих колебаний, получить выражение для амплитуды этих колебаний.

2.3.7 Как будет меняться характер колебаний при увеличении активного сопротивления контура. Анализ подтвердить расчетом.

2.3.8 От чего зависят период свободных колебаний (частота), логарифмический декремент, критическое сопротивление?

2.3.9 Могут ли в контуре, состоящем из конденсатора и активного сопротивления, возникать свободные колебания?

2.3.10 Какова методика определения периода колебаний и логарифмического декремента затухания в данной работе?

### 3 Лабораторная работа ЭМК – 19. Изучение вынужденных колебаний на примере цепи переменного тока

**Цель работы:** изучить процесс возникновения вынужденных колебаний в цепи, содержащей активное сопротивление, индуктивность и емкость,

овладеть методами определения индуктивности катушки, емкости конденсатора в цепи переменного тока, расчета полного сопротивления (импеданса).

### Задачи:

- определить емкость конденсатора и индуктивность катушки;
- рассчитать импеданс последовательно включенных сопротивлений, индуктивности и емкости;
- проверить справедливость закона Ома для переменного тока.

### 3.1 Методика работы

Рассмотрим изображенную на рисунке 3.1 цепь, состоящую из последовательно соединенных резистора сопротивлением  $R$ , катушки индуктивностью  $L$  и конденсатора емкостью  $C$ , на концы которой подается переменное напряжение. В цепи возникает переменный ток, вызывающий на всех элементах цепи соответствующие падения напряжения  $U_R$ ,  $U_L$  и  $U_C$ .

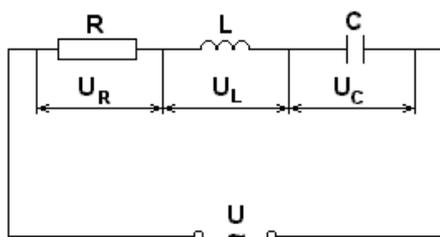


Рисунок 3.1

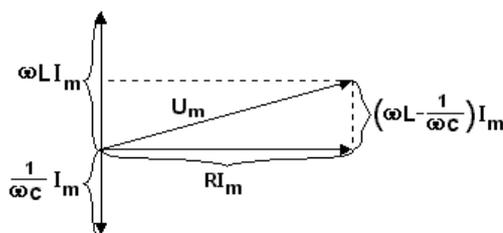


Рисунок 3.2

На рисунке 3.2 представлена векторная диаграмма амплитуд падений напряжений на резисторе ( $U_R = R I_m$ ), катушке ( $U_L = \omega L I_m$ ), конденсаторе ( $U_C = \frac{1}{\omega C} I_m$ ). Амплитуда  $U_m$  приложенного напряжения должна быть равна векторной сумме амплитуд этих напряжений. Из рисунка 3.2 следует, что амплитуда силы тока имеет значение

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}. \quad (3.1)$$

Уравнение (3.1) имеет вид закона Ома, стоящее в знаменателе формулы выражение

$$Z = \sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2} \quad (3.2)$$

называется полным электрическим сопротивлением или импедансом, а величина  $X = \omega L - \frac{1}{\omega C} = X_L - X_c$  - реактивным сопротивлением. Реактивное сопротивление цепи зависит от того, какие элементы и как включены в цепь. Допустим, что можно положить равными нулю  $R$  и  $L$ . Тогда, согласно указанным выше формулам

$$I_m = \frac{U_m}{1/\omega C} = \frac{U_m}{X_c}, \quad (3.3)$$

где  $\frac{1}{\omega C} = X_c$  - емкостное сопротивление.

Если в цепи отсутствует конденсатор, то

$$I_m = \frac{U_m}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{U_m}{Z}, \quad (3.4)$$

где  $\omega L = X_L$  - индуктивное сопротивление.

### 3.2 Описание экспериментальной установки

Для изучения закона Ома для переменного тока используется схема, приведенная на рисунке 3.3.

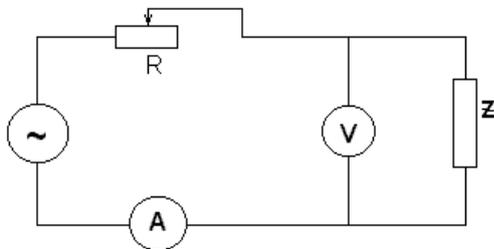


Рисунок 3.3

Действующие (или эффективные) значения напряжения  $U$  и тока  $I$  определяют по показаниям вольтметра и амперметра соответственно. Сопротивление  $Z$  нагрузки находят из уравнения

$$Z = \frac{U}{I}, \quad (3.5)$$

т.к. действующие значения  $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$  и  $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ . Включив в качестве нагрузки конденсатор, можно определить его емкость, исходя из (3.3) и (3.5),

$$C = \frac{1}{Z\omega}. \quad (3.6)$$

Включив в цепь катушку индуктивности, можно определить ее индуктивность, используя (19.4) и (19.5)

$$L = \frac{\sqrt{Z^2 - R^2}}{\omega}. \quad (3.7)$$

### 3.3 Порядок выполнения работы и обработка результатов измерений

3.3.1 Собрать измерительную схему, включив в качестве нагрузки конденсатор емкостью  $C$ .

3.3.2 Снять показания приборов. Измерения провести не менее 3-х раз, изменяя ток и напряжение с помощью переменного сопротивления  $R$ . Данные записать в таблицу 3.1.

3.3.3 Включить в качестве нагрузки катушку индуктивностью  $L$  и проделать измерения п.3.3.2.

3.3.4 Включить последовательно соединенные конденсатор и катушку индуктивности, проделать измерения п.3.3.2.

3.3.5 Рассчитать по формулам (3.6) и (3.7) емкость конденсатора и индуктивность  $L$  катушки.

3.3.6 Используя найденные значения  $L$  и  $C$  вычислить полное сопротивление  $Z$  по формуле (3.2) и сравнить экспериментальное значение (п.3.3.4) с рассчитанными по (3.2).

3.3.7 Определить погрешность измерений: доверительный интервал при доверительной вероятности 0,95.

3.3.8 Сделать анализ результатов и сформулировать выводы о влиянии параметров исследуемого участка цепи и частоты подаваемого напряжения на его сопротивление.

Таблица 3.1

Нагрузка	$I$ , А	$U$ , В	$Z$ , Ом	$\langle Z \rangle$ , Ом	$C$ , $L$ , $Z$ соответственно
$C$					
$R$ и $L$ последовательно					
$C$ , $R$ и $L$ последовательно					

### 3.4 Контрольные вопросы

3.4.1 Начертить схему колебательного контура для изучения вынужденных колебаний и обозначить входящие в него элементы.

3.4.2 Напишите дифференциальное уравнение, описывающее процессы, происходящие в последовательном колебательном контуре.

3.4.3 В чем разница между собственными и вынужденными колебаниями?

3.4.4 Проанализируйте принцип получения переменного тока.

3.4.5 Получите закон Ома для последовательного соединения  $R$ ,  $L$  и  $C$  в цепи переменного тока (используя метод векторных диаграмм).

3.4.6 Какие фазовые соотношения существуют между силой тока и напряжением на активном сопротивлении, емкости и индуктивности при их последовательном соединении?

3.4.7 Чему равен импеданс последовательного контура?

3.4.8 Что такое резонанс?

#### 4 Лабораторная работа ЭМК – 20. Измерение мощности переменного тока и определение коэффициента мощности

**Цель работы:** экспериментальное исследование мощности переменного тока, зависимости коэффициента мощности от индуктивности.

**Задачи:**

- измерить мощность переменного тока на реактивных нагрузках: емкости и индуктивности;

- определить коэффициент мощности, зависимость коэффициента мощности от индуктивности катушки.

##### 4.1 Методика измерений и описание экспериментальной установки

Как известно из теории переменного тока, средняя мощность, выделяемая в цепи переменного тока

$$N = \frac{U_m I_m}{2} \cos \varphi = U I \cos \varphi, \quad (4.1)$$

где  $U_m, I_m$  - максимальные значения напряжения и силы тока;

$U, I$  - действующие (эффективные) значения напряжения и силы тока, равные соответственно  $U = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$  и  $I = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$ , получающиеся при усреднении

квадрата мгновенного значения силы тока и напряжения синусоидального переменного тока. Амперметры и вольтметры градуируются по действующим значениям тока и напряжения. Множитель  $\cos \varphi$  называется коэффициентом мощности, анализ формулы (4.1) показывает, что мощность, выделяемая в цепи переменного тока, в общем случае зависит не только от силы тока и напряжения, но и от сдвига фаз между ними. Сдвиг фаз между током и напряжением зависит от сопротивления цепи  $R$ , индуктивности  $L$ , емкости  $C$  и частоты  $\omega$

$$\cos \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + (\omega L - \frac{1}{\omega C})^2}}. \quad (4.2)$$

Формула (4.2) получена для цепи переменного тока, содержащей последовательно включенные резистор, катушку индуктивности и конденсатор. Если в цепи отсутствует реактивное сопротивление, то  $\cos \varphi = 1$  и  $N = IU$ . Если цепь содержит только реактивное сопротивление ( $R=0$ ), то  $\cos \varphi = 0$  и  $N=0$ . Если  $\cos \varphi$  имеет значения существенно меньше единицы, то для передачи заданной мощности при данном напряжении генератора нужно увеличивать силу тока  $I$ , что приведет либо к выделению джоулевой теплоты, либо потребует увеличения сечения проводов, что повышает стоимость линий электропередачи. Поэтому на практике всегда стремятся увеличить  $\cos \varphi$ , наименьшее допустимое значение которого для промышленных установок составляет примерно 0,85.

Принципиальная схема для исследования мощности представлена на рисунке 4.1. Мощность измеряется с помощью ваттметра (PW), сила тока - амперметром (PA), напряжение на нагрузке  $Z$  - вольтметром (PV), ГС - источник тока. В качестве нагрузки  $Z$  используется конденсатор  $C$  и катушка индуктивности  $L$ . Измеряя  $U$ ,  $I$ ,  $N$ , можно по формуле (4.1) рассчитать  $\cos \varphi$ .

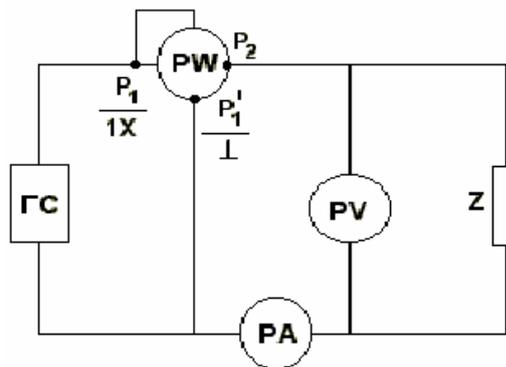


Рисунок 4.1

Для исследования зависимости  $\cos \varphi = f(L)$  в цепь в качестве нагрузки включается переменная индуктивность, для чего используется катушка с подвижным железным сердечником. Индуктивность определяют, исходя из следующего. Полное сопротивление участка цепи  $Z = \frac{U}{I}$ , активное сопротивление, в котором выделяется джоулево тепло, можно определить из выражения  $R = \frac{P}{I^2}$ . Пользуясь законом Ома для переменного тока, можно составить

выражение  $(\omega L)^2 = Z^2 - R^2 = \frac{U^2}{I^2} - \frac{N^2}{I^4}$  или

$$L = \frac{\sqrt{I^2 U^2 - N^2}}{\omega I^2}. \quad (4.3)$$

## 4.2 Порядок выполнения работы и обработка результатов эксперимента

4.2.1 Собрать электрическую схему, включив в качестве нагрузки конденсатор.

4.2.2 Снять показания тока  $I$ , напряжения  $U$  и мощности  $N$ . Опыт повторить 3 раза, данные занести в таблицу 4.1.

Т а б л и ц а 4 . 1

Нагрузка	$I, A$	$U, B$	$I \cdot U, Bт$	$N, Bт$	$\cos \varphi$	$\langle \cos \varphi \rangle$	$\langle \cos \varphi \rangle \pm \Delta(\cos \varphi)$
C							
L							
L, C последовательно							

4.2.3 В качестве нагрузки включить катушку индуктивности  $L$  и выполнить п.4.2.2.

4.2.4 В качестве нагрузки включить последовательно соединенные катушку индуктивности и конденсатор, выполнить п.4.2.2.

4.2.5 Вычислить коэффициент мощности по (4.1), рассчитать среднее значение и погрешность измерений при  $P=0,90$ .

4.2.6 Включить в качестве нагрузки катушку индуктивности. Снять показания  $I, U, N$ . Затем в катушку постепенно вдвигают железный сердечник. Для каждого положения сердечника вышеописанным способом определяют  $\cos \varphi$  и индуктивность катушки по (4.3). Результаты наблюдений записывают в таблицу 4.2.

4.2.7 По данным таблицы 4.2 построить график  $\cos \varphi = f(L)$ .

4.2.8 Сделать анализ результатов и сформулировать выводы о влиянии параметров цепи на коэффициент мощности.

Т а б л и ц а 4 . 2

Положение сердечника	$I, A$	$U, B$	$I \cdot U, Bт$	$N, Bт$	$L, Гн$	$\cos \varphi$
0						
1/4						
1/2						
и т.д.						

## 4.3 Контрольные вопросы

4.3.1 Получите закон Ома для последовательного соединения  $R, L$  и  $C$  в цепи переменного тока (используя метод векторных диаграмм).

4.3.2 Мощность переменного тока.

4.3.3 Действующие значения тока и напряжения.

4.3.4 Сдвиг фаз между током и напряжением. Как определить сдвиг фаз?

4.3.5 Почему называют  $\cos \varphi$  коэффициентом мощности и от чего он зависит?

4.3.6 Что такое индуктивность катушки и от чего она зависит ?

4.3.7 В чем отличия мощности переменного тока от мощности постоянного тока ?

4.3.8 Методика определения коэффициента мощности.

## 5 Лабораторная работа ЭМК – 21. Изучение гармонических колебаний на примере физического маятника

**Цель работы:** изучение основных характеристик гармонических колебаний и свойств физического и оборотного маятников.

**Задачи:**

- экспериментально исследовать зависимость периода колебаний физического маятника от его параметров;

- определить ускорение силы тяжести при помощи оборотного маятника.

### 5.1 Методика работы

Теория гармонических колебаний в физике и технике играет исключительную роль, так как гармонические колебания - наиболее распространенная форма движения в окружающем нас мире. Всякое движение около устойчивого положения равновесия (малые колебания) в первом приближении представляют собой гармонические колебания.

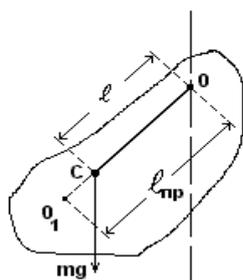


Рисунок 5.1

Простейшая система, совершающая гармонические колебания называется одномерным классическим гармоническим осциллятором. Примером такого осциллятора является физический маятник - твердое тело, совершающее колебания вокруг горизонтальной неподвижной оси, не проходящей через его центр инерции (рисунок 5.1). Точка  $C$  – центр масс тела, точка  $O$  – пересечения оси вращения с вертикальной плоскостью, проходящей через центр масс - называется точкой подвеса маятника.

Положение тела в каждый момент времени можно характеризовать углом отклонения его из положения равновесия  $\varphi$ . В случае малых колебаний ( $\varphi \ll 1$ ) и отсутствии трения уравнение движения маятника принимает вид

$$\varphi(t) = \varphi_m \cos(\omega_0 t + \alpha_0), \quad (5.1)$$

где  $\omega_0$  - циклическая частота свободных гармонических колебаний;

$\varphi_m$  - их амплитуда;

$\alpha_0$  - начальная фаза.

Амплитуда  $\varphi_m$  и начальная фаза  $\alpha_0$  колебаний могут быть произвольными. Собственная частота  $\omega = \sqrt{mgl/J}$  и период, равный

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgl}}, \quad (5.2)$$

зависят от параметров физического маятника: массы  $m$ , момента инерции  $J$ , расстояния от оси до центра масс  $\ell$ , а также – от ускорения свободного падения  $g$ .

Математический маятник с длиной

$$\ell_{np} = \frac{J}{m\ell} \quad (5.3)$$

будет иметь такой же период колебаний, как и данный физический маятник. Величину (5.3) называют *приведенной длиной физического маятника*.

Точку  $O_1$ , лежащую на продолжении прямой  $OC$  на расстоянии  $l_{np}$  от оси  $O$ , называют центром качания маятника. Точка подвеса и центр качания лежат по разные стороны от центра масс. Можно показать, что точка подвеса  $O$  (ось) и точка качания  $O_1$  взаимозаменяемы, если подвесить физический маятник в точке  $O_1$ , то его приведенная длина и, следовательно, период колебаний не изменятся. В этом случае мы получим *оборотный маятник*. Свойство взаимозаменяемости точки подвеса и центра качания используется в данной работе для измерения ускорения силы тяжести  $g$ . Из (5.2) и (5.3) следует

$$g = \frac{4\pi^2}{T_{од}^2} \cdot l_{np}. \quad (5.4)$$

Для оборотного маятника расстояние  $OO_1$  равно  $\ell_{np}$ .

В данной работе экспериментально исследуется зависимость периода колебаний физического маятника от его параметров  $l$  и  $J$ . Изменение (одновременное!) этих величин достигается изменением распределения массы тела относительно оси вращения путем перемещения подвижного груза А (рисунок 5.2). При этом характер изменения периода колебаний будет различным для разных точек подвеса  $O$  или  $O_1$ . Анализ полученных зависимостей периода колебаний физического маятника от положения груза А позволяет найти то его положение, при котором маятник превращается в оборотный.

## 5.2 Описание экспериментальной установки

В данной работе используется универсальный маятник FPM - 04, который представляет собой стержень с нанесенной на нем сантиметровой шка-

лой, двух подвижных грузов А и В и двух опорных призм  $O$  и  $O_1$  (рисунок 5.2).

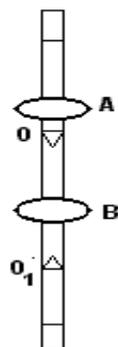


Рисунок 5.2

С помощью одной из опорных призм маятник подвешивается на кронштейн, закрепленный на подставке. Перемещение одного из грузов (например, А) вдоль стержня изменяет распределение массы относительно оси вращения, что ведет к изменению момента инерции маятника и расстояния  $\ell$  от оси до центра масс. В каком то одном положении груза А (при фиксированных положениях груза В и опорных призм  $O$  и  $O_1$ ) маятник превращается в обратный; период его колебаний будет одинаков при подвешивании в точках  $O$  и  $O_1$ .

### 5.3 Порядок выполнения работы и обработка результатов

5.3.1 Закрепить опорные призмы на расстоянии 25 - 40 см друг от друга. Подвесить маятник на кронштейн в точке  $O$ . Подвижный груз А должен находиться выше опорной призмы  $O$ , а груз В - выше точки  $O_1$  между призмами.

5.3.2 Отсчитать время 30 - 50 полных колебаний маятника, вычислить период колебаний  $T$

$$T = \frac{t}{n}. \quad (5.5)$$

5.3.3 Сдвигая груз А на 1 см, повторять измерения п.5.3.2, пока не будет получено 5 - 6 значений периода  $T$ .

5.3.4 Провести аналогичные измерения периода колебаний  $T_1$ , перевернув маятник и подвесив его в точке  $O_1$ .

5.3.5 Данные всех измерений свести в таблицу 5.1.

5.3.6 По данным измерений построить графики зависимостей  $T(x)$  и  $T_1(x)$ . Масштаб графика должен соответствовать точности полученных результатов. Точка пересечения кривых определит такое положения груза А, при котором значения периодов  $T$  и  $T_1$  наиболее близки. Определить это значение  $T$  для данной приведенной длины маятника  $\ell_{пр}$ .

5.3.7 По (5.4) определить ускорение свободного падения. Оценить погрешность результата методом косвенных измерений. При этом следует иметь

ввиду, что если призмы не скользят по плоскости подвеса и опираются на нее по всей длине ребра, а измерения проведены правильно, можно считать, что основную роль играют приборные погрешности. Тогда относительная погрешность  $g$  определяется по формуле

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta \ell_{np}}{\ell_{np}} + \frac{2\Delta T}{T}, \quad (5.6)$$

где  $\Delta \ell_{np} = 0,5$  см;

$\Delta T$  - погрешность в определении периода колебаний, зависящая не только от погрешностей  $\Delta t$  и  $\Delta n$ , но и от масштаба графика  $T(x)$ .

5.3.8 Сделать анализ результатов и сформулировать выводы о достоинствах и недостатках исследуемого метода определения  $g$ .

Т а б л и ц а 5 . 1

Положение груза А: $x$ , см.	Колебания относительно оси $O$			Колебания относительно оси $O_1$		
	$n$	$t$ , с	$T$ , с	$n$	$t_1$ , с	$T_1$ , с
0						
1						
и т.д.						

## 5.4 Контрольные вопросы

5.4.1 Какие колебания называются гармоническими? Дайте определение их основных характеристик.

5.4.2 Построить график гармонического колебания  $x = A \cos(2\pi t + \pi/2)$ .

5.4.3 Под действием какой силы совершает колебания физический маятник?

5.4.4 При каком условии колебания физического маятника будут гармоническими, т.е. описываться уравнением (5.1)?

5.4.5 От чего зависит период колебаний физического маятника? Как влияет на его величину изменение величины  $l$ ?

5.4.6 Объясните различный характер зависимостей  $T(x)$ , полученных для колебаний относительно осей  $O$  и  $O_1$ .

5.4.7 Что такое приведенная длина физического маятника? В каком соотношении находятся  $\ell_{np}$  и  $\ell$  (больше, меньше, равны)?

5.4.8 Как в данной работе определяется ускорение свободного падения?

## 6 Лабораторная работа ЭМК – 22. Изучение свободных колебаний маятника

**Цель работы:** изучение свободных колебаний на примере модели математического маятника; оценка точности реализации этой модели в лабораторной установке.

### Задачи:

- определить диапазон амплитуд, в котором период колебаний остается постоянным с заданной точностью;
- изучить влияние затухания на период колебаний маятника;
- проверить, подтверждается ли на опыте линейная зависимость между квадратом периода колебаний  $T^2$  и длиной подвеса  $\ell$ .

### 6.1 Методика работы

Период малых колебаний физического маятника равен

$$T = 2\pi\sqrt{I_0/(m g \ell)}, \quad (6.1)$$

где  $I_0$  - момент инерции маятника относительно оси качаний  $OO$ ;

$m$  - масса маятника;

$\ell$  - расстояние от оси качаний маятника до его центра масс;

$g$  - ускорение свободного падения.

В данной работе проводится экспериментальная проверка соотношения (6.1) в случае, когда маятник можно приближенно считать математическим, т.е. когда масса маятника сосредоточена в области, размеры которой малы по сравнению с  $\ell$ .

Исследуемый в лабораторной установке маятник схематически изображен на рисунке 6.1. Он представляет собой стальной шарик радиусом  $r$  на бифилярном подвесе. Длина подвеса может регулироваться.

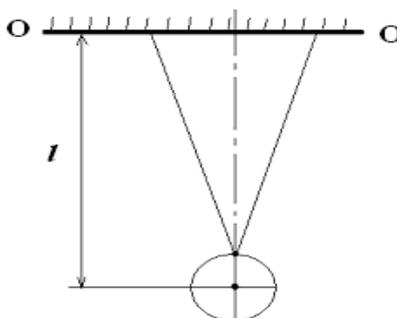


Рисунок 6.1

Момент инерции маятника складывается из момента инерции шарика и момента инерции нити подвеса. Пренебрегая моментом инерции нити, запишем момент инерции маятника относительно оси  $OO$  в виде:

$$I_0 = I_c + m\ell^2 = \frac{2}{5}mr^2 + m\ell^2. \quad (6.2)$$

Соотношение (6.2) следует из теоремы Штейнера, если учесть, что момент инерции однородного шара радиусом  $r$  и массой  $m$  относительно оси, проходящей через его центр, равен

$$I_c = \frac{2}{5} mr^2.$$

Рассмотрим случай, когда радиус шарика мал по сравнению с длиной подвеса:  $r \ll \ell$ . Тогда в (6.2) можно пренебречь слагаемым  $\frac{2}{5} mr^2$ , малым по сравнению с  $m\ell^2$ , и положить

$$I_0 = m\ell^2. \quad (6.3)$$

В этом приближении  $I_0$  определяется, очевидно, с небольшой систематической погрешностью

$$\frac{\Delta I_{\text{сум}}}{I_0} = \frac{\frac{2}{5} mr^2}{m\ell^2} = \frac{2}{5} \left( \frac{r}{\ell} \right)^2, \quad (6.4)$$

которую в условиях опыта легко оценить. С учетом (6.3) период колебаний маятника можно записать в виде

$$T = 2\pi \sqrt{\ell / g}. \quad (6.5)$$

Он, как и должно быть, совпадает с периодом колебаний математического маятника, длина подвеса которого  $\ell$ . Из (6.5) можно определить ускорение свободного падения

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} \ell. \quad (6.6)$$

Соотношение (6.6) позволяет опытным путем определить ускорение свободного падения. Для этого, очевидно, необходимо измерить период колебаний маятника  $T$  и длину подвеса  $\ell$ , затем рассчитать  $g$  по формуле (6.6).

Однако, прежде чем перейти к определению  $g$ , необходимо выяснить, применимо ли вообще соотношение (6.6) для лабораторной установки.

Дело в том, что выражение (6.1) для периода колебаний справедливо для идеализированной модели физического маятника. Следовательно, и соотношение (6.6) также справедливо только в рамках этой модели. При выводе соотношения (6.1) были сделаны следующие предположения:

- маятник совершает колебания малой амплитуды, и поэтому период колебаний не зависит от амплитуды (изохронность колебаний);
- затуханием колебаний можно пренебречь.

Непосредственным измерением легко проверить, что периоды колебаний маятника при малой (порядка  $3-5^\circ$ ) и большой ( $25-30^\circ$ ) амплитудах за-

метно отличаются. Поэтому необходимо определить, в каком диапазоне амплитуд период колебаний остается постоянным с достаточно высокой точностью.

Оценить влияние затухания на период колебаний можно, если учесть, что причиной затухания колебаний маятника является вязкое трение о воздух. Из теории колебаний следует, что в этом случае период колебаний равен

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 - \beta^2}}, \quad (6.7)$$

где  $\omega$  - частота свободных затухающих колебаний;

$\omega_0 = \sqrt{mg\ell/I_0} \approx \sqrt{g/\ell}$  - частота незатухающих (гармонических колебаний);

$\beta$  - коэффициент затухания.

Коэффициент  $\beta$  может быть выражен через число колебаний  $N_e$ , за которое амплитуда колебаний уменьшается в  $e=2,78 \approx 3$  раза

$$\beta = \frac{1}{N_e T} \approx \frac{1}{N_e T_0}. \quad (6.8)$$

Из соотношения (6.7) и (6.8) находим

$$T = 2\pi \left( \omega_0^2 - \frac{1}{N_e^2 T_0^2} \right)^{-1/2} = \frac{2\pi}{\omega_0} \left( 1 - \frac{1}{4\pi^2 N_e^2} \right)^{-1/2} = T_0 \left( 1 + \frac{1}{8\pi^2 N_e^2} \right).$$

Таким образом, величина поправки  $\Delta T = T - T_0$  к периоду  $T_0$  оказывается равной

$$\frac{\Delta T}{T_0} \approx \frac{1}{8\pi^2 N_e^2}. \quad (6.9)$$

Из этой формулы следует, что уже при  $N_e \approx 10$  поправка (6.9) меньше 0,1% и ею можно пренебречь.

## 6.2 Описание экспериментальной установки

В данной работе используется лабораторная установка FPM-04, в которой стальной шарик радиусом  $r$  закрепляется на бифилярном подвесе: тонкая нить пропущена через отверстие в специальном выступе, концы нити закреплены на стойке. Длина подвеса может регулироваться в пределах 20-55 см. Период колебаний измеряется с помощью секундомера.

### 6.3 Порядок выполнения работы и обработка результатов эксперимента

6.3.1 Определение диапазона изохронности колебаний.

6.3.1.1 Подготовить установку к работе. Установить максимальную длину подвеса маятника.

6.3.1.2 Определить период колебаний маятника для 8-10 значений амплитуд в пределах от  $2-3^\circ$  до  $30^\circ$ . Для определения периода  $T$  измерить с помощью секундомера время  $t$  нескольких ( $N=8 \div 10$ ) колебаний, вычислить  $T$  по формуле:

$$T = \frac{t}{N}. \quad (6.7)$$

Результаты занести в таблицу 6.1

Т а б л и ц а 6 . 1

Наименование величины	Значение				
Амплитуда $\varphi, ^\circ$					
Число колебаний $N$					
Время $t, c$					
$T(\varphi), c$					

6.3.1.3 Выяснить на основании полученных результатов, в каком диапазоне амплитуд колебания можно считать изохронными с точностью 0,1%; 0,5%; 1%.

6.3.2 Изучение влияния затухания на период колебаний маятника.

Найти число колебаний маятника, за которое амплитуда уменьшается примерно в три раза. По (6.10) определить влияние затухания на период колебаний. Опыт повторить не менее трех раз, определить среднее значение  $N_e$ .

6.3.3 Проверка линейного характера зависимости  $T^2 = f(\ell)$ .

6.3.3.1 Измерить период колебаний маятника для четырех-пяти длин подвеса в пределах от  $\ell_{\min} \approx 25$  см до  $\ell_{\max} = 55$  см.

При измерениях амплитуда  $\varphi_m$  колебаний должна быть малой, т.е. находиться в найденном выше диапазоне изохронности. Результаты измерений занести в таблицу 6.2.

По результатам измерений построить график зависимости  $T^2$  от  $\ell$  в осях координат  $X = \ell, Y = T^2$ .

6.3.3.2 Вычислить наименьшую длину подвеса маятника  $\ell_{\min}$ , при которой с точностью до 0,5% момент инерции маятника можно принимать равным  $J_0 = m\ell^2$  (6.3). Для этого в соотношении (6.4) принять значение  $\Delta I_{\text{сум}} / J_0 = 0,005$ .

6.3.4 Определение ускорения свободного падения. Измерить период колебаний  $T$  маятника при наибольшем значении длины подвеса, чтобы уменьшить относительную погрешность. Вычислить  $g$  с помощью (6.6) при найденных значениях  $T$  и  $\ell$ .

Оценить погрешность  $\Delta g / g$  по формуле

$$\frac{\Delta g}{g} = \frac{\Delta \ell}{\ell} + \frac{2\Delta T}{T}, \quad (6.8)$$

приняв  $\Delta \ell = 0,5$  см ( $\Delta T$  зависит от применяемого секундомера), и записать окончательный результат.

Т а б л и ц а 6 . 2

Наименование величины	Значение				
$\ell$ , см					
$t$ , с					
$N$					
$T(\ell)$ , с					
$T^2(\ell)$ , с <sup>2</sup>					

#### 6.4 Контрольные вопросы

6.4.1 Какие колебания называются гармоническими? Дайте определение их основных характеристик.

6.4.2 Физический и математический маятники.

6.4.3 В чем причина затухания колебаний маятника?

6.4.4 По какому закону изменяется амплитуда при затухающих колебаниях?

6.4.5 Как оценить влияние затухания на период колебаний маятника?

6.4.6 Как в данной работе проверяется зависимость  $T^2 = f(\ell)$ ?

6.4.7 Как в данной работе определяется ускорение свободного падения  $g$ ?

6.4.8 Что необходимо сделать для уменьшения погрешности в определении  $g$ ?

#### 7 Лабораторная работа ЭМК – 23. Определение индуктивности катушек

**Цель работы:** измерение индуктивностей катушек методом моста Максвелла.

**Задачи:** Измерение индуктивности неизвестных катушек с помощью моста Максвелла

## 7.1 Методика работы

Возникновение электродвижущая сила (ЭДС) индукции в контуре вследствие изменения магнитного потока, создаваемого переменным током в самом контуре, называется *самоиндукцией*. ЭДС самоиндукции  $\varepsilon_s$  пропорциональна скорости изменения тока  $I$  в контуре:

$$\varepsilon_s = -L \cdot \frac{dI}{dt},$$

где  $L$  - индуктивность.

Индуктивность определяется параметрами контура — его геометрией, а также магнитной проницаемостью окружающей контур среды. В СИ индуктивность выражается в генри (Гн).

Если катушку индуктивности включить в цепь переменного тока с ЭДС  $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \sin(\omega t)$ , то, пренебрегая омическим сопротивлением катушки, на основании закона Ома можно записать

$$\varepsilon + \varepsilon_s = 0$$

или

$$\varepsilon_0 \sin \omega t - L \frac{dI}{dt} = 0,$$

откуда

$$I = -(\varepsilon_0 / \omega L) \cos \omega t.$$

Величина  $r_L = L \omega$  называется *реактивным индуктивным сопротивлением* и выражается в СИ в Омах (Ом).

Используя мост Максвелла, можно по величине реактивного индуктивного сопротивления определить индуктивность катушки.

## 7.2 Описание экспериментальной установки

Приборы и принадлежности: два магазина сопротивлений, потенциометр, эталонная катушка индуктивности, двойной ключ, исследуемые катушки индуктивности, индикатор нуля, источник низковольтного напряжения переменного тока.

Схема моста Максвелла представлена на рисунке 7.1. Если мост сбалансирован, то индуктивность определяется из соотношения:

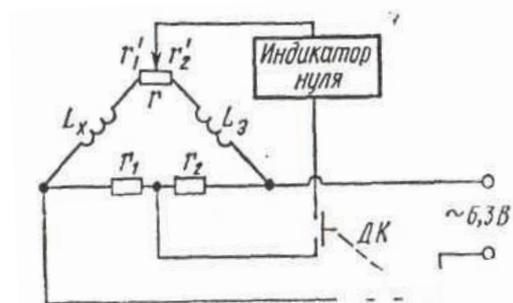


Рисунок 7.1

$$L_x = L_3 (r_1 / r_2). \quad (7.1)$$

Для соблюдения дополнительного условия балансировки фазовых углов необходимо, чтобы

$$\frac{L_x}{L} = \frac{(r_x + r_1')}{(r_3 + r_2')}, \quad (7.2)$$

где  $r_x$  и  $r_3$  - активные сопротивления неизвестной и эталонной катушек.

### **7.3 Порядок выполнения работы и обработка результатов эксперимента**

7.3.1 Собрать схему согласно рисунку 7.1.

7.3.2 Установить по своему усмотрению величину сопротивления  $r_2$ .

7.3.3 Движок потенциометра  $r$  установить приблизительно посередине его длины.

7.3.4 Установить минимальную чувствительность на индикаторе нуля. Включить ключ ДК нажатием кнопки (в дальнейшем кнопку держать включенной только при проведении измерений).

7.3.5 Изменяя сопротивление  $r_1$ , добиться минимума показаний индикатора нуля, постепенно повышая его чувствительность.

7.3.6 Изменяя соотношение плеч потенциометра  $r$ , добиться минимума показаний индикатора нуля.

7.3.7 Поочередно изменяя сопротивление  $r_1$  и соотношение плеч потенциометра и постепенно повышая чувствительность до максимальной, добиться минимума показаний.

7.3.8 Рассчитать значение неизвестной индуктивности  $L_x$ .

7.3.9 Повторить измерения п. 7.3.2-7.3.8 для четырех других значений сопротивления  $r_2$ .

7.3.10 Вычислить среднее значение  $L_x$  по пяти измерениям и оценить погрешность метода.

### **7.4 Контрольные вопросы**

7.4.1 В чем заключается явление электромагнитной индукции? Сформулируйте закон Фарадея.

7.4.2 Сформулируйте правило Ленца. Проиллюстрируйте его примерами.

7.4.3 В чем заключаются явления самоиндукции?

7.4.4 Физический смысл индуктивности контура, от чего она зависит?

7.4.5 Покажите зависимость индуктивного сопротивления от частоты переменного тока.

7.4.6 Объясните механизм появления индукционного тока в движущихся и неподвижных проводниках во внешнем магнитном поле.

7.4.7 Объясните методику измерения индуктивности неизвестных катушек с помощью моста Максвелла.

7.4.8 Как добиваются сбалансированности моста Максвелла? Объясните формулы (7.1) и (7.2).

## Список литературы

- 1 Савельев И.В. Курс общей физики: Кн.1: Механика. - М.: ООО «Изд.-во Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2004.
- 2 Савельев И.В. Курс общей физики: Кн.4: Волны. Оптика. - М.: ООО «Изд.-во Астрель»: ООО «Издательство АСТ», 2004.
- 3 Детлаф А.А., Яворский Б.М. Курс физики. - М.: Высш. шк., 2002.
- 4 Курс физики.: Учебник для вузов: Т.1/ Под ред. Лозовского В.Н.– СПб.: Издательство «Лань», 2001.
- 5 Иродов И.Е. Электромагнетизм. Основные законы. - М.: Физматлит., 2000.
- 6 Кингсеп А.С., Локшин Г.Р., Ольхов О.А. Основы физики: Курс общей физики: Учебн. в 2 т.: Т.1. Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика / Под ред. А.С.Кингсепа. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. – 560 с.
- 7 Лабораторный практикум по физике / Сев. гос. мед. ун-т; сост.: Н. Я. Ушакова, А. В. Тарасова. - Архангельск : СГМУ Ч.3: Электричество и магнетизм. Оптика. Атомная физика / сост. О. Ю. Ешевский. - Архангельск : СГМУ, 2009. - 45 с - Библиогр.: с.45.

## Содержание

Введение .....	3
1 ЭМК-17 Изучение сложения колебаний с помощью осциллографа .....	4
2 ЭМК-18 Изучение свободных затухающих колебаний в колебательном контуре .....	8
3 ЭМК-19 Изучение вынужденных колебаний на примере цепи переменного тока .....	12
4 ЭМК-20 Измерение мощности переменного тока и определение коэффициента мощности .....	16
5 ЭМК-21 Изучение гармонических колебаний на примере физического маятника .....	19
6 ЭМК-22 Изучение свободных колебаний маятника .....	23
7 ЭМК-23 Определение индуктивности катушек .....	27
Список литературы .....	30

Сыздыкова Рабига Надейнбековна  
Кенжебекова Акмарал Игілікқызы

## КОЛЕБАНИЯ

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
для студентов всех специальностей

Редактор Л.Т. Сластихина  
Специалист по стандартизации Н.К. Молдабекова

Подписано в печать  
Тираж \_25\_ экз.  
Объем 2 уч. изд.л.

Формат 60×84 1/16  
Бумага типографская № 1  
Заказ \_\_\_\_ . Цена \_1000 тг.\_

Копировально-множительное бюро  
некоммерческого акционерного общества  
«Алматинский университет энергетики и связи»  
050013, Алматы, Байтурсынова, 126

НЕКОММЕРЧЕСКОЕ АКЦИОНЕРНОЕ АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ

Кафедра физики

«Утверждаю»

Проректор по УМР

\_\_\_\_\_ С.В. Коньшин

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2015 г.

**КОЛЕБАНИЯ**

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
для студентов всех форм обучения всех специальностей

СОГЛАСОВАНО:

Начальник УМО  
\_\_\_\_\_ М.А. Мустафин  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2015 г.

Рассмотрено и одобрено на  
заседании кафедры физики  
Протокол №1 от "26" 09 2014 г.

Председатель ОУМК по МОиЭ  
\_\_\_\_\_ Б.К. Курпенов  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2015 г.

Зав. кафедрой физики  
\_\_\_\_\_ М.Ш. Карсыбаев

Редактор:  
\_\_\_\_\_  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2015 г.

Согласовано:

Зав. кафедрой ИТ  
\_\_\_\_\_ К.С. Чежимбаева  
Зав. кафедрой ИС

Специалист по стандартизации  
\_\_\_\_\_ Н.К. Молдабекова

\_\_\_\_\_ Ш.И. Имангалиев  
Составители:

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2015 г.

\_\_\_\_\_ Сыздықова Р.Н.

\_\_\_\_\_ Кенжебекова А.И.

Алматы, 2015г.