

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра общей и технической физики

ФИЗИКА
ИЗУЧЕНИЕ СЛОЖЕНИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ С
ПОМОЩЬЮ ОСЦИЛЛОГРАФА

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов всех специальностей и направлений подготовки*

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2023

УДК 531/534 (073)

ФИЗИКА. Изучение сложения электрических колебаний с помощью осциллографа: Методические указания к лабораторным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост: *М.Ю. Кожокаръ, А.С. Иванов.* СПб, 2023. 29 с.

Лабораторный практикум для курса общей физики по предназначен для студентов всех специальностей Санкт-Петербургского горного университета.

С помощью учебного пособия студент имеет возможность ознакомиться с методикой выполнения лабораторного исследования, физическими явлениями, и правилами оформления лабораторных работ.

Выполнение лабораторного практикума проводится студентом по индивидуальному графику.

Научный редактор доц. *Н.Н. Смирнова*

Рецензент доцент, к. ф.-м. н. *Ю.В. Чуркин* (АО «Корпорация «Комета» - «НПЦ ОЭКН»)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. Сложение колебаний.....	5
1.1 Сложение параллельных колебаний.....	5
1.2. Сложение перпендикулярных колебаний.....	7
2. Теоретические основы лабораторной работы	9
3. Лабораторная работа. Изучение сложения электрических колебаний с помощью осциллографа.....	16
4. Требования к выполнению лабораторных работ	21
5. Требования к содержанию отчета по лабораторной работе	21
6. Рекомендации по защите отчета	23
7. Рекомендательный библиографический список	24
Приложение 1	25
Приложение 2	27

Введение

Цель данного лабораторного практикума, как и дисциплины в целом – приобретение знаний и умений по физике в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом (ФГОС) по различным направлениям подготовки бакалавров и специалистов.

В соответствии с требованиями результат освоения лабораторного практикума направлен на формирование общих и профессиональных компетенций заключающихся в способностях:

- организовать работу для достижения поставленных целей;
- применять на практике полученные навыки при выполнении и описании исследований;
- работать исключительно самостоятельно;
- использовать инновационные и новаторские идеи;
- принимать активное участие в научно-исследовательских разработках.

Методические указания к лабораторной работе предназначены для самостоятельной работы студентов. Они содержат основные теоретические сведения по теме, а также порядок выполнения и оформления лабораторной работы.

При выполнении лабораторной работы, студент должен понимать физический смысл данного явления или процесса, рассматриваемого в лабораторной работе. Поэтому к выполнению работы целесообразно приступать только после изучения теоретического и методического материала, соответствующего данному разделу, используя при этом как данную методическую разработку, так и рекомендуемую учебную литературу.

Студенты допускаются к занятиям в лаборатории при подготовке на аудиторном занятии теоретической базы новой работы, наличии заготовки к ней и защиты предыдущей работы.

1. Сложение колебаний

Любое колебание можно изобразить в виде вектора, модуль которого равен амплитуде колебания, а начальная фаза определяет его направление в начальный момент времени (рис. 1).

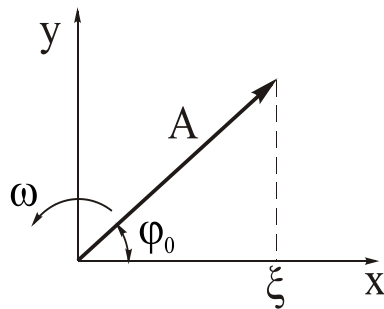


Рис. 1. Колебание вектора A

Этот вектор вращается с угловой скоростью ω против часовой стрелки. Тогда проекция этого вектора на ось X дает значение физической величины ξ , описывающей данное колебание:

$$\xi = x = A \cdot \cos(\omega t + \varphi_0). \quad (1.1)$$

1.1 Сложение параллельных колебаний

Пусть материальная точка участвует в двух колебательных процессах, происходящих в одинаковом направлении и с одинаковой частотой. Результирующее колебание можно представить вектором, равным сумме векторов каждого колебания в отдельности (рис. 2):

$$\begin{aligned} \xi_1 = x_1 &= A_1 \cdot \cos(\omega t + \varphi_{01}), \\ \xi_2 = x_2 &= A_2 \cdot \cos(\omega t + \varphi_{02}). \end{aligned} \quad (1.2)$$

Из построений на рис. 2 видно, что амплитуда результирующего колебания определяется из выражения:

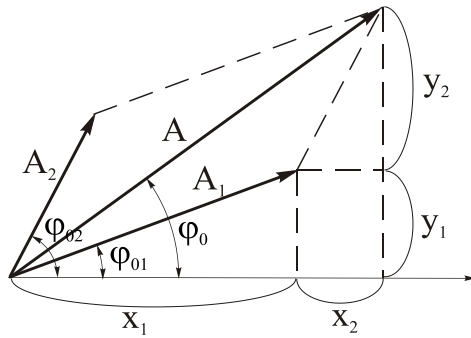


Рис. 2 Результирующее колебание двух колебательных процессов

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_{02} - \varphi_{01}), \quad (1.3)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_0 = \frac{A_1 \sin \varphi_{01} + A_2 \sin \varphi_{02}}{A_1 \cos \varphi_{01} + A_2 \cos \varphi_{02}}. \quad (1.4)$$

а начальная фаза:

Вектор A также будет вращаться с круговой частотой ω против часовой стрелки. Таким образом, результат сложения двух гармонических колебаний, происходящих с частотой ω в одинаковом направлении, это тоже гармоническое колебание с той же частотой, амплитуда которого определяется по формуле (1.3), а начальная фаза – по формуле (1.4).

Если частоты складываемых колебаний ω_1 и ω_2 отличаются, то результирующее колебание уже не будет гармоническим. Однако, если

$|\omega_1 - \omega_2| \ll \omega$, то его можно рассматривать как гармоническое, но с медленно и периодически меняющейся амплитудой (рис. 3). Такие колебания называют **биениями**.

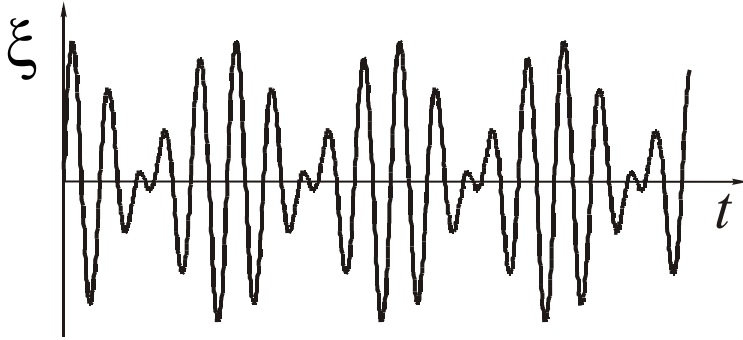


Рис. 3 Биения

1.2. Сложение перпендикулярных колебаний

Пусть материальная точка участвует в колебаниях по осям X и Y согласно уравнениям:

$$\begin{aligned} x &= a \cos \omega t \\ y &= b \cos(\omega t + \alpha) \end{aligned} \quad (1.5)$$

Уравнения (1.5) можно преобразовать в выражение траектории колеблющейся материальной точки:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - \frac{2xy}{ab} \cos \alpha = \sin^2 \alpha \quad (1.6)$$

Это уравнение эллипса, оси которого повернуты относительно X и Y на угол γ , который является сложной функцией от a , b и α . Рассмотрим частные случаи:

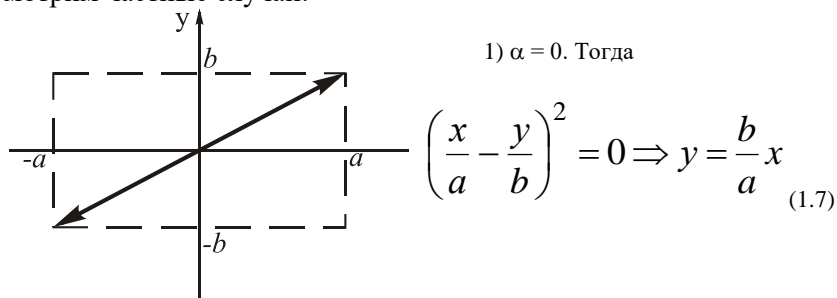


Рис. 4. Колебание материальной

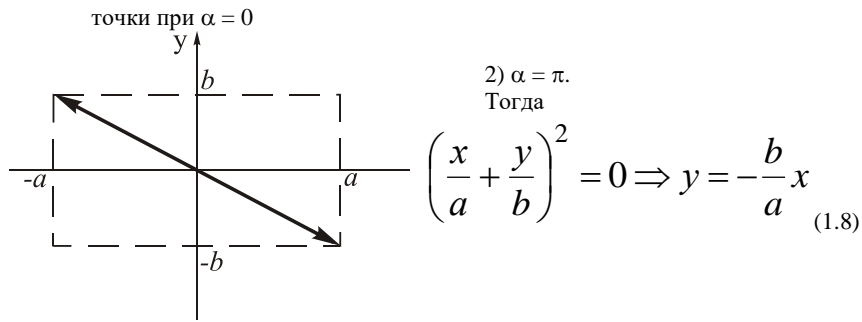


Рис. 5. Колебание материальной точки при $\alpha = \pi$

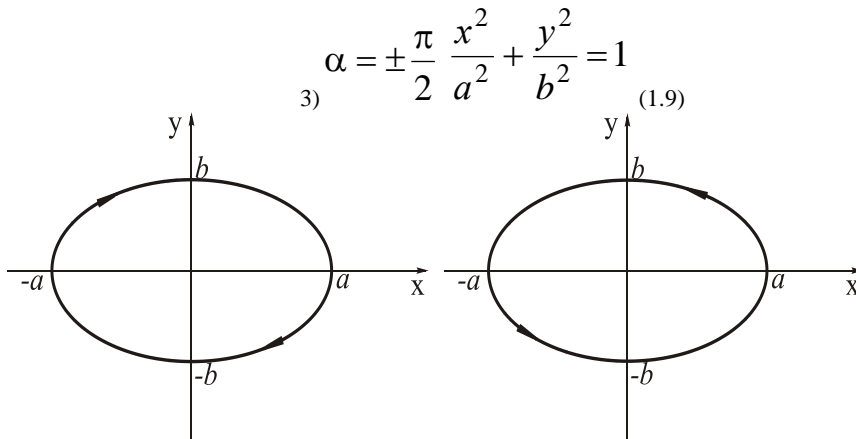


Рис. 6 Результирующее колебание

Если частоты взаимно перпендикулярных колебаний не одинаковы и относятся как целые числа, то траектории результирующего движения имеют более сложные формы, которые называются фигурами Лиссажу. Одна из этих фигур ($\omega_y : \omega_x = 3 : 2$) показана на рис. 7.

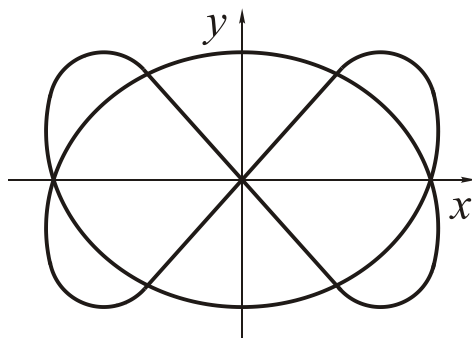


Рис. 7. Фигура Лиссажу

2. Теоретические основы лабораторной работы

Электронный осциллограф – прибор, позволяющий наблюдать (а в некоторых случаях фотографировать) ход временных электрических процессов с помощью электронно-лучевой трубки, в которой очень узкий пучок электронов используется как карандаш, рисующий изображение (рис. 8). Это, по существу, единственный прибор, с помощью которого можно зафиксировать быстропротекающие электрические процессы.

Приобретение навыков работы с осциллографом, исследование быстропротекающих процессов имеет большое значение для специалистов, занимающихся исследовательской работой в различных областях науки и техники. Фигуры Лиссажу – один из методов определения частоты неизвестного сигнала.

При наличии датчиков – устройств, преобразующих механические или другие неэлектрические колебания в пропорциональные им колебания напряжения, осциллограф может служить для исследования большинства физических процессов. С его помощью можно сравнивать и измерять амплитуды, частоты, фазы колебаний, измерять очень малые промежутки времени, наблюдать сложение нескольких колебательных процессов, происходящих как в одном направлении, так и во взаимно перпендикулярных направлениях. Например, наблюдая на осциллографе электрический сигнал, вырабатываемый датчиками вибрации, можно судить о частоте и амплитуде колебаний изучаемого объекта.

Электронный осциллограф широко применяют в экспериментальной физике, химии, биологии, медицине, геологии, радиотехнике.

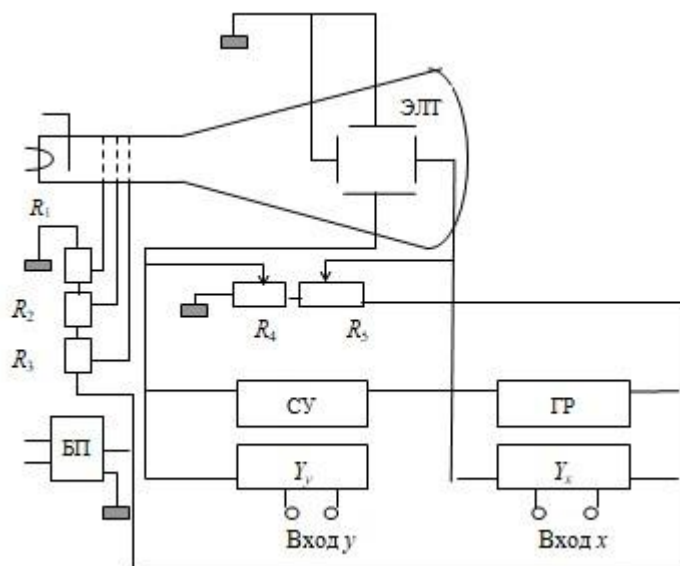


Рис. 8 Блок-схема осциллографа

Упрощенная блок схема осциллографа. (рис. 1) включает блок питания **БП**, электронно-лучевую трубку **ЭЛТ**, генератор пилообразного напряжения **ГР** (генератор развертки), усилители **Ух** и **Уу** и синхронизирующее устройство **СУ**. Яркость электронного луча и его фокусировка регулируются делителем напряжения **$R_1 - R_3$** , к которому подводится высокое напряжение от блока питания. Потенциометры **R_4** и **R_5** позволяют перемещать электронный луч в вертикальном и горизонтальном направлении.

В электронно-лучевой трубке (рис. 9) источником электронного луча является электронная пушка, состоящая из источника электронов – оксидного катода с подогревом 1, управляющего электрода 2 и анодов 3 и 4. Управляющий электрод позволяет регулировать величину потока электронов и тем самым изменять яркость светящейся точки на экране 7. Аноды 3 и 4 ускоряют электроны и концентрируют их в узкий пучок.

Пролетев ускоряющее поле ($U_0 \approx 10^4$ В), электроны приобретают кинетическую энергию $eU_0 = mv^2/2$ и летят со скоростью

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}} \approx 2 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

, где e – заряд электрона, m – его масса.

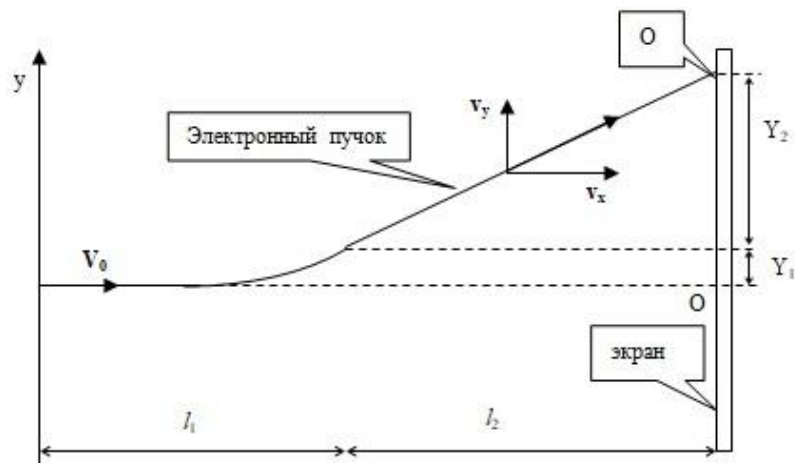


Рис. 9. Электронно-лучевая трубка

Полученный таким образом электронный луч отклоняется в двух взаимно перпендикулярных плоскостях, за счёт напряжений, приложенных к двум парам отклоняющих пластин 5, 6 на рис. 2.

При отсутствии напряжения на отклоняющих пластинах электроны движутся прямолинейно с постоянной скоростью и бомбардируют экран. На экране появляется светящееся пятно в точке O (рис. 10)

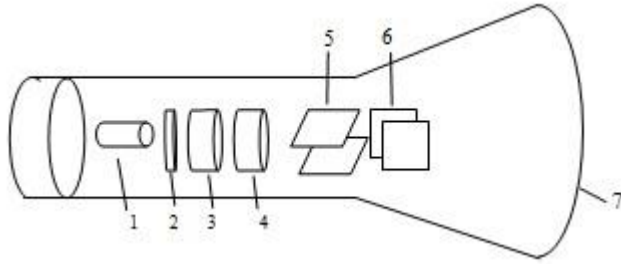


Рис. 10. Образование электронного пучка

Расстояние $L = l_1 + l_2$ между отклоняющими пластинами и экраном составляет 20–30 см. Время, необходимое электрону для преодоления этого расстояния, составляет $t = L/v_0 = 3 \cdot 10^{-8}$ с. Следовательно, электронно-лучевая трубка является практически безинерционным прибором, т.е. изображение возникает одновременно с подачей импульса (сигнала) на осциллограф.

Когда на вертикальные отклоняющие пластины подано напряжение U_y , то в пространстве между пластинами на электрон действует сила $F = eU_y/d$, которая сообщает ему ускорение $a = eU_y/md$, где d – расстояние между пластинами.

Параллельно пластинам электрон будет двигаться равномерно со скоростью v_0 в течении времени $t_1 = l_1/v_0$, где l_1 – длина пластин.

За это же время электрон в направлении, перпендикулярном к пластинам, приобретает скорость

$$v_y = at_1 = \frac{eU_y l_1}{mdv_0} \quad (2.1)$$

$$y_1 = \frac{a_y t_1^2}{2} = \frac{eU_y l_1^2}{2mdv_0^2} \quad (2.2)$$

и сместится на расстояние

При выходе из пространства между пластинами электрон будет двигаться в направлении вектора результирующей скорости \mathbf{v} и достигнет экрана трубки через промежуток времени $t_2 = l_2/v_0$. За время t_2 электрон сместится вдоль оси y еще на расстояние $y_2 = v_y \cdot t_2$.

Таким образом, за все время движения $t = t_2 + t_1$ электрон сместится от центра экрана O на расстояние

$$y = y_1 + y_2 = \frac{eU_y l_1^2}{2mdv_0^2} + \frac{eU_y l_1 l_2}{mdv_0^2} = \frac{eU_y l_1}{mdv_0^2} \left(l_2 + \frac{l_1}{2} \right) \quad (2.3)$$

Следовательно, смещение электрона пропорционально приложенному напряжению, так как все остальные величины, входящие в формулу, постоянны.

$$\frac{el_1}{mdv_0^2} \left(l_2 + \frac{l_1}{2} \right) = P$$

Обозначим P , тогда $y = PU_y$.

Результатом вертикального смещения электрона является равное ему смещение светящейся точки на экране; это смещение пропорционально приложенному напряжению.

Величина

$$P = Y/U_y \quad (2.4)$$

называется чувствительностью трубки в направлении оси y .

Величина, обратная чувствительности, $K = U_y/y$ называется ценой деления оси y .

Если к пластинам приложить периодически меняющееся напряжение, то электронный луч прочертит прямую линию, длина которой будет пропорциональна амплитудному значению приложенного к пластинам напряжения.

Чтобы на экране трубки вызвать смещение светящейся точки на x в направлении горизонтальной оси, необходимо приложить напряжение U_x к горизонтально отклоняющим пластинам. Цена деления оси x соответственно

$$K_x = U_x/x \quad (2.5)$$

Если одновременно подать напряжение U_x и U_y на горизонтально и вертикально отклоняющие пластины, то светящаяся точка сместится соответственно на x и y делений вдоль соответствующих осей и займет положение на экране трубки, характеризуемое координатами y и x . Если одно из этих напряжений, например, U_x пропорционально произвольно изменяемой величине t , а второе (U_y) пропорционально величине $Z = F(t)$, то на экране след

электронного луча будет описывать функцию $F(t)$ в прямоугольной системе координат.

Для изменения сигналов с течением времени служит генератор развертки. Он вырабатывает напряжение, линейно меняющееся с течением времени – пилообразное напряжение (рис. 11). В конце каждого периода напряжение падает до нуля и электронный пучок быстро возвращается в исходное состояние, практически не оставляя следа на экране.

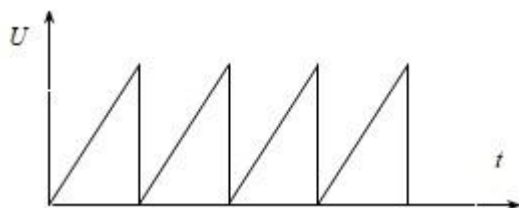


Рис. 11 Пилообразное напряжение.

Рассмотрим в качестве примера синусоидальное напряжение, поданное на вертикально отклоняющие пластины. При этом $U_y = U_0 \sin(\omega t)$, а $U_x = bt$ – линейно растущее напряжение одного из периодов пилообразного напряжения развертки (b – коэффициент пропорциональности)

Проходя через обе пары отклоняющих пластин, электронный луч участвует в двух взаимно перпендикулярных движениях и отклоняется по вертикали пропорционально синусоидальному напряжению, а по горизонтали – пропорционально времени

В результате сложения этих движений световое пятно на экране описывает линию, соответствующую закону изменения исследуемого напряжения с течением времени (в данном случае синусоиду).

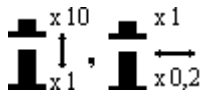
Этот процесс повторяется многократно каждую секунду, и поэтому на экране можно наблюдать устойчивую картину «развернутого» сигнала.

В схему генератора развертки входят электронные лампы, резисторы и конденсаторы. Меняя величины сопротивлений и емкостей, можно изменять период напряжения развертки, получая

при этом на экране разное число периодов исследуемого напряжения.

На передней панели осциллографа, применяемого в данной работе, расположены экран и большое количество ручек управления:

- Ручки «Яркость», «Фокус» служат для установки необходимой яркости и четкости изображения;
- Ручки перемещения изображения по вертикали и горизонтали



- Переключатель длительности развертки (имеющий также положение «выкл»);
- Две ручки «Усиление» для плавной регулировки чувствительности усилителя горизонтального и вертикального отклонения луча;
- Делитель входного усилителя, служащий для выбора нужной чувствительности усилителя вертикального отклонения луча;
- Ручка «Синхронизация», служащая для согласования во времени двух периодических процессов – а именно, отклонений пучка электронов по вертикали и горизонтали
- Входные гнезда усилителей «Y_y» и «Y_x»;
- Ручка выключателя сети.

При помощи осциллографа можно:

- а) наблюдать форму электрического сигнала на экране;
- б) измерять длительности периодов колебаний исследуемого сигнала, а также длительности иных временных интервалов;
- в) измерять амплитуды колебаний напряжения исследуемого сигнала.

Картина колебаний, наблюдаемая на экране, может быть устойчивой или неустойчивой, в зависимости от свойств исследуемого сигнала. Наиболее удобно проводить измерения, конечно, при практически неподвижной картине на экране, вычерченной электронным лучом.

Погрешность измерения в этом случае возникает из-за того, что полученная на экране линия даже при очень хорошей фокусировке имеет конечную толщину, порядка 1 мм. Поэтому погрешность измерения любой длины по экрану осциллографа следует принять равной 1 мм. Исходя из этого, рассчитывается погрешность измерения временного интервала или амплитуды колебаний.

3. Лабораторная работа. Изучение сложения электрических колебаний с помощью осциллографа

Цель работы: исследование различных электрических процессов при помощи осциллографа.

Теоретическое содержание работы представлено в первом разделе методических указаний.

Порядок выполнения работы

При выполнении работы следует строго соблюдать правила техники безопасности и охраны труда, установленные в лаборатории. Выполнять работу нужно предельно аккуратно, не трясти и не толкать установку, поскольку это может исказить результаты. Работа выполняется в строгом соответствии с нижеизложенным порядком выполнения и в объеме, предусмотренном индивидуальным заданием.

Часть 1. Получение фигур Лиссажу и определение с их помощью частоты синусоидальных сигналов

Согласно инструкции в приложении 1 получить на экране осциллографа поочередно 5 фигур Лиссажу. Например, первая фигура (верхняя строка на рис. 12) получена при одинаковых частотах генераторов f_x и f_y .

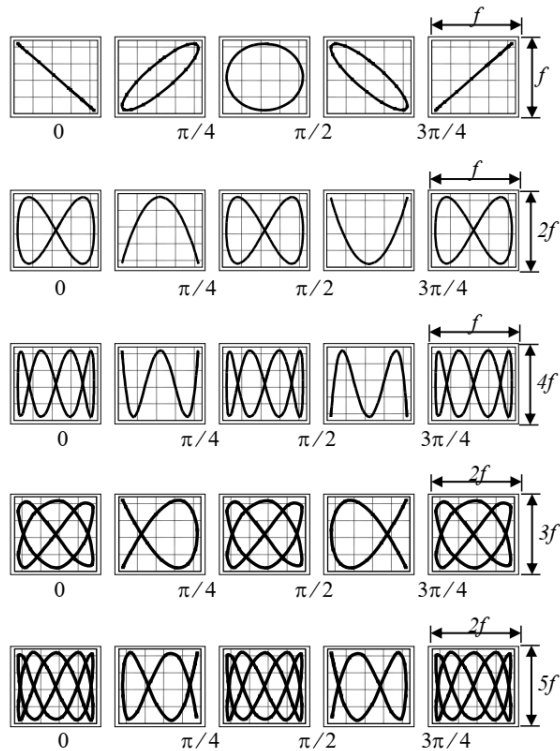


Рис. 12 Фигуры Лиссажу

Обработка результатов

Для таких фигур справедливо следующее свойство: отношение частот гармонических сигналов f_x/f_y равно отношению числа точек пересечения данной фигуры вертикальной 1 и горизонтальной 2 линиями n_y/n_x (см. рис. 13).

- 1) подать на входы Y и X осциллографа синусоидальные напряжения от двух генераторов синусоидального напряжения.
- 2) меняя частоту одного из генераторов, получить на экране неподвижную фигуру (фигуру Лиссажу).
- 3) проверить для фигуры соотношение $f_x/f_y = n_y/n_x$.

Для примера рассмотрим фигуру Лиссажу, представленную на рис 12. Максимальное число точек пересечения фигуры с осью 2

(n_x) равно 4, а максимальное число точек пересечения с осью 1 (n_y) равно 2. По лимбу генераторов частот снять значения f_x и f_y .

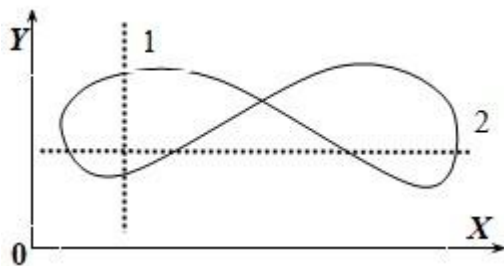


Рис. 13 Пример фигуры Лиссажу

5) получить еще 4 фигуры Лиссажу для других пар частот двух генераторов и проверить для них соотношение $f_x/f_y = n_y/n_x$,

6) Заполнить таблицу 1

Таблица 1

f_x , Гц	f_y , Гц	n_x	n_y	f_x/f_y	n_y/n_x
1					
2					
...					
n					

Часть 2. Получение и исследование биений

При сложении двух колебаний одинакового направления, мало отличающихся по частоте, возникает колебание с амплитудой, зависящей от времени. Такие колебания называются биениями (рис. 14). Если амплитуды колебаний одинаковы ($A_1 = A_2 = A$), а частоты колебаний близки друг другу ($\omega_1 \cong \omega_2 \cong \omega$), то смещение колеблющейся точки:

$$y = 2A \cos\left(\frac{\Delta\omega}{2} t\right) \cos(\omega \cdot t) \quad (3.1)$$

где разность частот $\Delta\omega = |\omega_1 - \omega_2| \ll \omega$, средняя частота $\omega^* = (\omega_1 + \omega_2)/2$; $A = 1$ В.

Тогда амплитуда результирующего колебания (биения)

$$A_{\sigma} = 2A \cos\left(\frac{\Delta\omega}{2} t\right) \quad (3.2)$$

медленно меняется с течением времени с частотой $\Delta\omega/2$, причем величина $\Delta\omega$ называется частотой биения, а величина $T_0 = 2\pi/\Delta\omega$ называется периодом биений.

Согласно инструкции в приложении 2, получить на экране осциллографа устойчивую картину биений (рис. 7). Произвести необходимые измерения с учётом цены деления по оси x и y .

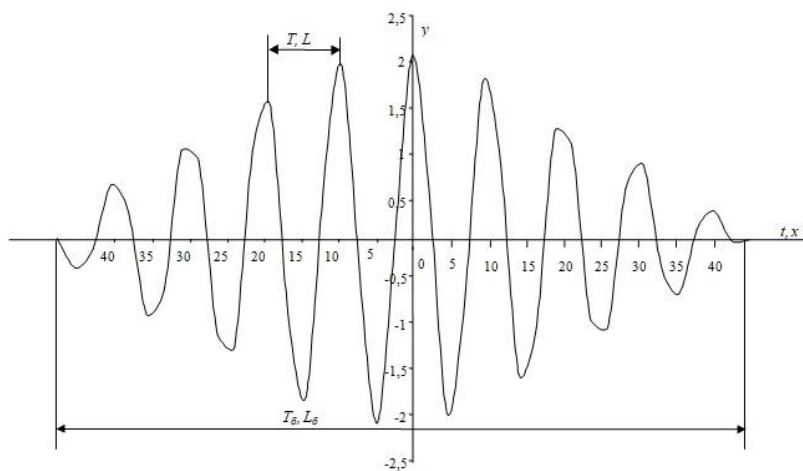


Рис. 14 Биения

Обработка результатов

1) Определить период колебаний T .

Для этого найти по экрану осциллографа длину отрезка L (см), соответствующую одному периоду колебаний, тогда период колебаний равен:

$$T = aL$$

где a – цена деления, определяется по осциллографу (по положению ручки блока развертки).

Сравнить с периодом колебаний, полученным по: $T = 1/f$ *, (сек),

где f^* – средняя частота генераторов, измеренная по лимбу генераторов, рассчитываемая по $f^* = \frac{f_1 + f_2}{2}$.

2) Измерить период биений (рис. 7), используя установленную длительность развертки.

Измерив длину отрезка L_{σ} , соответствующего одному периоду биений T_{σ} , найти период биений по формуле:

$$T_{\sigma} = a L_{\sigma} \quad (3.3)$$

3) Рассчитать циклическую частоту биений

$$\Delta\omega = 2\pi/T_{\sigma} \quad (3.4)$$

4) Рассчитать по формуле (3.2) амплитуды биений A_{σ} .

5) Измерить по вертикальной шкале экспериментальные амплитуды $A_{\sigma_{\text{эксп}}}$ через каждый период колебаний в пределах половины одного периода биений; заполнить таблицу 2.

Таблица 2

t	$\Delta\omega t/2$	$\cos(\Delta\omega t/2)$	A_{σ}	$A_{\sigma_{\text{эксп}}}$
c	рад		B	B
0				
1T				
2T				
.....				

6. Построить график зависимости $A_{\sigma} = f(\cos(\Delta\omega t/2))$:

- На координатных осях указать откладываемые физические величины и обозначить единицы величин.
- Указать масштаб на осях координат (при очень больших или очень малых величинах, показательную часть в записи величины указать рядом с единицами измерений на оси).
- Нанести полученные экспериментальные данные на координатную плоскость, обозначив их крестиком, кружочком или жирной точкой.

- d. Провести через экспериментальные точки плавную линию, в соответствии с выбранным законом аппроксимации экспериментальных данных.

Контрольные вопросы

1. Для чего используется электронный осциллограф?
2. Объяснить по блок-схеме осциллографа назначение основных блоков.
3. Устройство и работа электронно-лучевой трубки.
4. Назначение и использование генератора развертки?
5. Как возникают биения?
6. Как проверить формулу для амплитуды биений?
7. Как получаются фигуры Лиссажу?

4. Требования к выполнению лабораторных работ

1. Выполнение лабораторных работ проводится в аудиториях и учебных лабораториях кафедры ОТФ (по 2 учебных часа на 1 работу) в соответствии с графиком работ по учебным лабораториям механики, электромагнетизма, оптики, физики твердого тела и виртуальных экспериментов. В случае пропуска прошлого занятия по уважительной причине на очередном занятии делается следующая по графику работа.

2. Студенты допускаются к занятиям в лаборатории при подготовке на аудиторном занятии теоретической базы новой работы, наличии заготовки к ней и защиты предыдущей работы.

3. Полученные в результате работы данные заносятся в таблицу и после ее завершения подписываются преподавателем или инженером - лаборантом.

5. Требования к содержанию отчета по лабораторной работе

1. Отчеты к лабораторной работе оформляются на компьютере, с целью совместимости с установленным программным обеспечением следует предоставлять готовые работы в формате MSWord, таблицы могут быть оформлены в формате MSExcel.

2. Печать на одной стороне листа белой бумаги формата А4. Поля: левое - 30 мм; правое - 25 мм; верхнее и нижнее по 25 мм.

3. Тип шрифта для текста Times New Roman, прямой. Высота шрифта: тело абзаца-12, заголовки и другие рубрики-14. Интервал - 1,5.

4. Выравнивание по абзацу - двустороннее, для заголовка - по центру. Слова и заголовки не разрываются, а переносятся целиком. Помимо стандартного титульного листа должны быть раскрыты следующие пункты:

1. Цель работы.

2. Краткое теоретическое содержание:

а) явления, изучаемые в работе;

б) определение основных физических понятий, объектов, процессов и величин;

в) законы и соотношения (использованные при выводе расчетной формулы);

г) пояснения к физическим величинам, входящим в формулы, и единицы их измерений.

3. Основные расчетные формулы.

4. Формулы погрешности косвенных измерений.

5. Таблицы (указать номер и название).

6. Пример вычислений.

а) Исходные данные (постоянные параметры в лабораторной работе).

б) Погрешности прямых измерений

в) Вычисления: [*величина = формула = подстановка чисел = результат вычисления, единицы измерений*].

г) Вычисление погрешностей косвенных измерений.

7. Графический материал:

а) Аналитическое выражение функциональной зависимости, которую необходимо построить.

б) На осях координат указать масштаб, наименование физической величины и единицы измерения.

в) График искомой зависимости.

8. Результат в виде $x = \bar{x}_{\text{cp}} \pm \Delta x$ или $x = \bar{x}_{\text{cp}} \pm \sigma_x$,

где x – физическая величина, Δx и σ_x – абсолютная и среднеквадратичная погрешности косвенных измерений.

9. Анализ и выводы должны базироваться на сравнительной оценке экспериментального результата с теоретическим, с данными справочника, более точными экспериментальными данными. Указать возможные причины расхождения.

6. Рекомендации по защите отчета

К защите допускаются студенты, подготовившие отчет в соответствии с требованиями к его содержанию в установленные сроки. После проверки преподавателем содержания отчета, при наличии ошибок и недочетов, работа возвращается студенту на доработку.

При правильном выполнении лабораторной работы, соблюдении всех требований к содержанию и оформлению отчета, студент допускается к защите.

Для успешной защиты отчета необходимо изучить теоретический материал по теме работы, а также освоить математический аппарат, необходимый для вывода расчетных формул работы.

При подготовке к защите, помимо данного методического указания, необходимо использовать учебники и другие учебные пособия, рекомендованные к учебному процессу кафедрой ОТФ и Министерства образования и науки.

Во время защиты студент должен уметь ответить на вопросы преподавателя в полном объеме теоретического и методического содержания данной лабораторной работы, уметь самостоятельно вывести необходимые расчетные формулы, выполнить анализ полученных зависимостей и прокомментировать полученные результаты.

7. Рекомендательный библиографический список

Основная литература

1. *Трофимова Т.И.* Курс физики: учеб.пособие [Электронный ресурс]/ Т.И.Трофимова. - 21-е изд., стер. - М.: Академия, 2015. - 560 с. и пред.изд. (2008, 2007, 2004, 1997)
2. *Детлаф А.А.* Курс физики: учеб.пособие [Электронный ресурс]/ А.А. Детлаф, Б.М. Яворский. - 5-е изд., стер. - М.: АCADEMIA, 2005. - 720 с.и пред. изд. (2003, 2002, 2001, 1998)
3. *Савельев И.В.* Курс физики: учеб.пособие: в 3 т. Т.1. Механика. Молекулярная физика [Электронный ресурс] /И.В. Савельев – Изд. 5-е, стер. - СПб. [и др.]: Лань,2016. - 352 с.и пред. изд. (2008, 1998, 1989)
4. *Иродов И.Е.* Задачи по общей физике [Электронный ресурс]: учеб.пособие / И. Е. Иродов. - Москва: Лань, 2009. - 416 с.— 434 с. и пред.изд. (2007, 2004, 2003, 1988)

Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы.

5. Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам» (<http://window.edu.ru>).
6. Научная электронная библиотека <http://elibrary.ru>.
7. Электронные версии учебников, пособий, методических разработок, указаний и рекомендаций по всем видам учебной работы, предусмотренных вузовской рабочей программой, находящиеся в свободном доступе для студентов, обучающихся в вузе, на внутри сетевом сервере <http://www.spmi.ru/>.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

1.1. ПОДГОТОВКА ПРИБОРОВ К РАБОТЕ:

- включить тумблеры “СЕТЬ” низкочастотных генераторов сигналов ГЗ-109 и повернуть ручки “РЕГУЛИРОВКА ВЫХ” против часовой стрелки до упора;
- выключатель “ВКЛ” осциллографа С1-83 выдвинуть на себя до упора;
- поставить кнопочный переключатель, находящийся на левой части лицевой панели осциллографа, в положение $\begin{matrix} \parallel \\ X - Y \end{matrix}$, а кнопочный переключатель, находящийся на правой части панели, в положение $X - Y$;
- убедиться, что переключатели находятся в нажатом положении, затем, поворачивая ручки этих переключателей, установить их в среднее положение;
- переключатели $\begin{matrix} - \\ \sim \\ \perp \\ \sim \end{matrix}$ каналов I и II поставить в положение \perp (входы осциллографа отключены от генераторов);
- получив изображение точки на экране, установить минимальную яркость, достаточную для наблюдения; это можно осуществить ручкой «☉»;
- с помощью ручки «⊗» (контрастность изображения) получить изображение точки в виде правильного кружка;
- ручками $\begin{matrix} \text{■} & x 10 \\ \updownarrow & \\ \text{■} & x 1 \end{matrix}$ и $\begin{matrix} \text{■} & x 1 \\ \leftarrow\rightarrow & \\ \text{■} & x 0,2 \end{matrix}$, находящимися соответственно слева внизу панели и справа вверху панели, переместить точку в центр экрана.

1.2. ПОЛУЧЕНИЕ ФИГУР ЛИССАЖУ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ С ИХ ПОМОЩЬЮ ЧАСТОТЫ СИНУСОИДАЛЬНЫХ СИГНАЛОВ:




- на генераторе ГЗ-109, сигнал с которого идет на канал I (вход X, горизонтальное отклонение луча) установить частоту в пределах 20÷50 Гц (переключатель “МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ” должен находиться в положении I);
- переключатели “V/ДЕЛ” каналов I и II осциллографа установить в положение “0,1”, а ручки плавной регулировки, находящиеся на переключателях, повернуть по часовой стрелки до упора (в этом случае цена одного большого деления составляет по осям X и Y 0,1 В);
- установить переключатель $\begin{matrix} \sim \\ \perp \\ \sim \end{matrix}$ канала I в положение \sim (вход по переменной и постоянной составляющим сигнала);
- на генераторе ГЗ-109 (сигнал с которого подается на X-вход) установить переключатель выхода сигнала в положение 1,5 В и с помощью ручки “РЕГУЛИРОВКА ВЫХ” развернуть изображение сигнала на 6 больших делений;
- установить переключатель $\begin{matrix} \sim \\ \perp \\ \sim \end{matrix}$ канала II в положение \sim ;
- на генераторе ГЗ-109, сигнал с которого подается на Y-вход, установить ту частоту, при которой на экране наблюдается изображение фигуры Лиссажу, плавно переходящее от круга через эллипс к прямой линии и обратно (скорость изменения формы фигуры можно уменьшить, подстраивая частоту одного из генераторов). Развернуть изображение фигуры по вертикали также на 6 больших делений;
- Меняя частоту на одном из генераторов в кратном соотношении, получить различные фигуры Лиссажу, изображённые на рис. 5.


Приложение 2

2. ИССЛЕДОВАНИЕ БИЕНИЙ




2.1. ПОДГОТОВКА ПРИБОРОВ К РАБОТЕ. ПОЛУЧЕНИЕ БИЕНИЙ:

- установить переключатель, находящийся на левой части лицевой панели осциллографа, в положение “Г”, переключатель “ВНУТР” группы “СИНХРОНИЗАЦИЯ” в положение “Г,П”, переключатель “ВРЕМЯ/ДЕЛ” – в положение “2 *ms*”, ручку, находящуюся на переключателе, повернуть по часовой стрелке до упора (в этом случае цена одного большого деления по оси абсцисс составит 2 *ms*);

- перевести переключатель  канала I в положение \perp и с помощью ручки  канала I и ручки  получить изображение прямой, проходящей через весь экран осциллографа по оси X,

затем установить переключатель  в положение \sim ;

- на генераторе ГЗ-109, выход которого соединен со входом X, установить частоту 1000 Гц (“МНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ” следует поставить в положение “10”, а лимб генератора повернуть до отметки “100”);
- с помощью ручки “РЕГУЛИРОВКА ВЫХ.” получить изображение синусоиды с полным размахом на 2 больших деления по оси ординат;
- установить переключатель, находящейся на левой части лицевой

панели в положение $X - Y$ , переключатель  канала «II» в 

положение « \perp », с помощью ручки канала II получить

изображение линии, проходящей по оси абсцисс, затем вновь

поставить переключатель $\begin{matrix} - \\ \sim \\ \perp \\ \sim \end{matrix}$ канал «II» в положение \sim ;


- на генераторе ГЗ-109 (выход которого соединяется со входом КАНАЛ II) установить частоту на втором генераторе 900 Гц;
- с помощью ручки плавной регулировки выхода получить изображение синусоиды с полным размахом на два больших деления;
- переключатель осциллографа, находящийся на левой части лицевой панели, поставить в положение I \pm II (сложение);
- ручку , находящуюся внизу слева в группе «СИНХРОНИЗАЦИЯ», выдвинуть на себя и, поворачивая ее, добиться устойчивого изображения (в этом случае происходит запуск генератора развертки осциллографа, либо по переднему фронту складываемости сигнала, если нажать кнопку «+» группы «СИНХРОНИЗАЦИЯ», либо по заднему фронту, если нажата кнопка «-»; в этом можно убедиться переместив изображение сигнала вправо);
- на экране осциллографа должна появиться картина биений, аналогичная приведенной на рис. 7.;
- Произвести необходимые измерения, учитывая, что цена большего деления по оси напряжений (оси ординат) составляет 1 В, а по оси времени (ось абсцисс) – 2 мс.

Таблица 3.

Множители и приставки для образования десятичных и кратных единиц

Множитель	Приставка		Множитель	Приставка	
	Наименование	Обозначение		Наименование	Обозначение
10^3	кило	к	10^{-3}	милли	м
10^6	мега	М	10^{-6}	микро	мк
10^9	гига	Г	10^{-9}	нано	н
10^{12}	тера	Т	10^{-12}	пико	п

Таблица 4.

Основные физические постоянные

Физическая постоянная	Обозначение	Числовое значение
Нормальное ускорение свободного падения	g	9,81 м/с ²
Гравитационная постоянная	G	$6,67 \cdot 10^{-11}$ м ³ /(кг·с) ²
Элементарный заряд	e	$1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Масса покоя электрона	m_e	$9,1 \cdot 10^{-31}$ кг
Скорость света в вакууме	c	$3 \cdot 10^8$ м/с
Атомная единица массы	а. е. м.	$1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Энергия, соответствующая 1 а. е. м.	–	931,50 МэВ
Электрическая постоянная	ϵ_0	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Магнитная постоянная	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Постоянная Авогадро	N_A	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль ⁻¹
Масса покоя протона	m_p	$1,67 \cdot 10^{-27}$ кг

Диэлектрическая проницаемость (относительная) вещества

Бакелит	4,0	Слюда.....	6,0
Парафин.....	2,2	Масло трансформаторное	2,2
Вода.....	81,0	Стекло	7,0

Удельное сопротивление, 10^{-8} Ом·м

Вольфрам.....	5,5	Никелин.....	40,0
Железо.....	9,8	Нихром.....	110,0
Медь.....	1,75	Серебро.....	1,6

ФИЗИКА
ИЗУЧЕНИЕ СЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ
С ПОМОЩЬЮ ОСЦИЛЛОГРАФА

*Методические указания к лабораторным работам
для студентов всех специальностей и направлений подготовки*

Сост.: *М.Ю. Кожокарь, А.С. Иванов*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
общей и технической физики

Ответственный за выпуск *М.Ю. Кожокарь*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 10.02.2023. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,7. Усл.кр.-отг. 1,7. Уч.-изд.л. 1,4. Тираж 50 экз. Заказ 110.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2