

МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ,  
СВЯЗИ И МАССОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ  
им. проф. М. А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»  
(СПбГУТ)

---

В. М. Деткова, В. Б. Федюшин, Ю. В. Шарихина

**ФИЗИКА  
КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ**

Часть 3  
**ИССЛЕДОВАНИЕ СЛОЖЕНИЯ  
ВЗАИМНО ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫХ КОЛЕБАНИЙ  
С ПОМОЩЬЮ ОСЦИЛЛОГРАФА**

Учебно-методическое пособие  
по выполнению лабораторной работы

СПбГУТ)))

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2023

УДК 537.86(076)  
ББК 22.336я73  
Д38

Рецензент  
кандидат технических наук,  
доцент факультета фундаментальной подготовки СПбГУТ  
*Е. Ю. Передистов*

*Утверждено редакционно-издательским советом СПбГУТ  
в качестве учебно-методического пособия*

**Деткова, В. М.**

Д38 Физика. Колебания и волны. Часть 3. Исследование сложения взаимно перпендикулярных колебаний с помощью осциллографа : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторной работы / В. М. Деткова, В. Б. Федюшин, Ю. В. Шарихина ; СПбГУТ. – Санкт-Петербург, 2023. – 20 с.

Написано в соответствии с программой курса физики по разделу «Колебания и волны». Приведены описание лабораторной установки и метода измерения, порядок выполнения работы, задания к работе и контрольные вопросы.

Предназначено для студентов первого курса технических специальностей всех форм обучения.

УДК 537.86(076)  
ББК 22.336я73

© Деткова В. М., Федюшин В. Б., Шарихина Ю. В., 2023  
© Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2023

## СОДЕРЖАНИЕ

Цель работы .....	4
Введение .....	4
Описание лабораторной установки .....	12
Порядок выполнения работы .....	13
Обработка результатов измерений .....	15
Контрольные вопросы .....	16
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	17
Приложение. РЕГУЛИРОВКА ГЕНЕРАТОРА .....	18



## Цель работы

1. Ознакомление с помощью осциллографа с видом траектории точки, участвующей в двух колебательных движениях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях.

2. Определение амплитуд и разности фаз двух взаимно перпендикулярных колебаний одинаковой частоты.

## Введение

Осциллограф – измерительный прибор, предназначенный для визуального наблюдения и исследования электрических сигналов. Осциллограф преобразует подаваемый на его вход электрический сигнал в видимое изображение. Главным элементом осциллографа является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ). ЭЛТ представляет собой запаянную стеклянную колбу, узкую с одной стороны и расширяющуюся с другой.

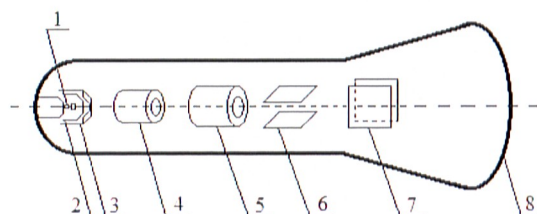


Рис. 1. Схема электронно-лучевой трубки

Обычно трубка имеет цилиндрическую форму, а расширяющаяся часть может быть как цилиндрической, так и прямоугольной формы. Расширяющаяся часть трубки заканчивается поверхностью, которая образует экран 8 (рис. 1). Внутренняя часть экрана покрыта люминофором, который способен светиться при бомбардировке его электронным пучком. Внутри трубки расположены два независимых устройства: электронный прожектор и система отклоняющих пластин. Электронный прожектор формирует узкий пучок электронов. В состав электронного прожектора входят катод, управляющий электрод и два анода. Катод 2 является источником электронов. Он подогревается спиралью, на которую подается напряжение накала 1. В результате термоэлектронной эмиссии электроны покидают поверхность катода. Первым на пути электронов располагается управляющий электрод 3, который фокусирует электронный луч и регулирует его яркость на экране. Затем поток электронов проходит два анода 4 и 5, имею-

щих цилиндрическую форму. Перемещаясь внутри анодов, электронный пучок сужается, дополнительно фокусируется и ускоряется в направлении экрана. Конструктивно все электроды прожектора выполнены в виде полых цилиндров, расположенных вдоль оси электронно-лучевой трубки. Сформированный электронным прожектором узкий электронный пучок проходит между двумя парами отклоняющих пластин 6 и 7. Одна пара пластин смещает электроны вдоль оси  $X$ , а вторая – вдоль оси  $Y$ . Если на пластины подать напряжение (создать между ними разность потенциалов), то между пластинами образуется электрическое поле. Сила, действующая со стороны этого поля на движущийся электронный пучок, направлена перпендикулярно скорости электронов и отклоняет пучок или вдоль оси  $X$  или вдоль оси  $Y$ .

Рассмотрим некоторые возможные изображения на экране осциллографа при различных временных зависимостях напряжения, подаваемого на отклоняющие пластины.

1. Если на обеих парах отклоняющих пластин напряжение отсутствует, электронный луч будет попадать в центр экрана (рис. 2, точка 1).

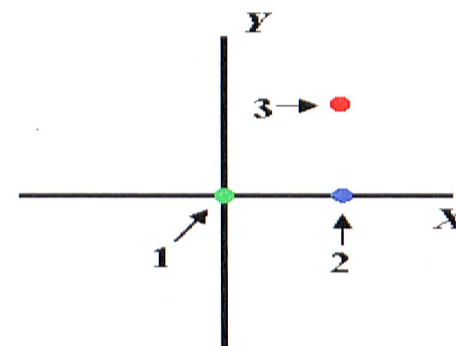


Рис. 2. Точки, наблюдаемые на экране осциллографа при независимом от времени напряжении на отклоняющих пластинах

2. Если создать постоянную разность потенциалов только между одной парой пластин, например  $X$ , электронный луч сместится на фиксированное расстояние вдоль оси  $X$ . В месте, где электронный луч попадает на экран, наблюдатель увидит неподвижную точку (рис. 2, точка 2).

3. Если создать постоянную разность потенциалов и между пластинами  $X$  и между пластинами  $Y$ , неподвижная точка будет смещена и в вертикальном и в горизонтальном направлениях (рис. 2, точка 3).

4. Если на пластины  $X$  подать переменное напряжение с некоторой частотой  $\nu$ , то точка на экране будет совершать колебательное движение в горизонтальном направлении с той же частотой  $\nu$ . Если величина  $\nu$  не превышает нескольких герц, наблюдатель увидит на экране движущуюся точку. Если частота достигает 20 и более герц, движение точки по экрану становится настолько быстрым, что последовательные положения точки сольются в непрерывную линию и на экране отобразится горизонтальный отрезок (траектория точки), рис. 3.

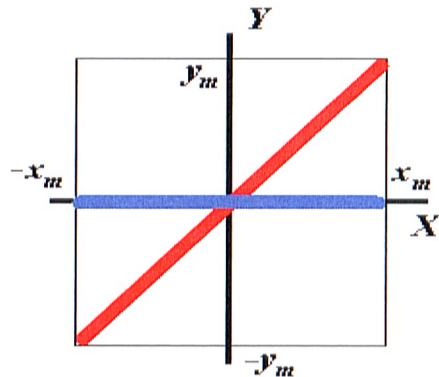


Рис. 3. Траектории на экране осциллографа при переменном напряжении на отклоняющих пластинах

5. Если на обе пары отклоняющих пластин подать два одинаковых переменных сигнала (т. е. такие переменные напряжения, у которых амплитуда, частота и начальная фаза одинаковы), то точка на экране будет двигаться по биссектрисе первого и третьего координатных углов (рис. 3). Образовавшийся отрезок является траекторией точки, участвующей в двух колебаниях, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях.

В лабораторной работе изучаются траектории, образовавшиеся в результате сложения переменных сигналов, отличающихся амплитудами, начальными фазами и частотами.

Рассмотрим материальную точку, совершающую гармонические колебания одновременно в двух взаимно перпендикулярных направлениях. Вдоль оси  $OX$  амплитуда колебаний  $x_m$ , а циклическая частота  $\omega_x$ . Вдоль оси  $OY$  амплитуда колебаний  $y_m$ , а циклическая частота  $\omega_y$ . Сдвиг фазы колебаний – величина  $\varphi$ , характеризующая отставание одного колебания от другого. Координаты этой материальной точки имеют вид:

$$x(t) = x_m \cos(\omega_x t); \quad (1)$$

$$y(t) = y_m \cos(\omega_y t + \varphi). \quad (2)$$

Уравнения (1) и (2) задают на плоскости  $(X, Y)$  кривую, которая является траекторией движения материальной точки. Поскольку тригонометрическая функция  $\cos(\alpha)$  ограничена интервалом  $[-1; 1]$ , траектория  $y(x)$  располагается внутри прямоугольника:  $-x_m \leq x(t) \leq x_m$ ,  $-y_m \leq y(t) \leq y_m$ . При произвольных значениях частот и сдвига фаз траектория имеет сложный вид. Однако в случае, когда частоты колебаний  $\omega_x$ ,  $\omega_y$  кратны друг другу, т. е. когда их отношение равно отношению двух целых чисел  $\frac{\omega_x}{\omega_y} = \frac{n_x}{n_y}$ , траектория является замкнутой.

Самый простой вид траектории получается тогда, когда частоты колебаний одинаковы:  $\omega_x = \omega_y = \omega$ . Получим уравнение траектории в этом случае, исключив из уравнений (1), (2) время. Разделив обе части уравнений, соответственно на  $x_m$  и  $y_m$ , а также используя тригонометрическую формулу косинуса суммы, получаем

$$\frac{x}{x_m} = \cos(\omega t); \quad (3)$$

$$\frac{y}{y_m} = \cos(\omega t)\cos(\varphi) - \sin(\omega t)\sin(\varphi). \quad (4)$$

Подставляя формулу (3) в (4) и используя  $\sin(\omega t) = \sqrt{1 - \cos^2(\omega t)}$ , получаем

$$\frac{y}{y_m} - \frac{x}{x_m} \cos(\varphi) = -\sin(\varphi) \sqrt{1 - \frac{x^2}{x_m^2}}. \quad (5)$$

После возведения в квадрат обеих частей уравнения (5) получаем уравнение траектории:

$$\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 + \left(\frac{y}{y_m}\right)^2 - 2\frac{x}{x_m}\frac{y}{y_m}\cos(\varphi) = \sin^2(\varphi). \quad (6)$$

Это уравнение эллипса. Его ориентация относительно координатных осей зависит от амплитуд  $x_m$ ,  $y_m$  и от разности фаз колебаний  $\varphi$ .



Рассмотрим некоторые частные случаи.

1. Разность фаз  $\varphi = 0$ . Тогда уравнение (6) принимает вид

$$\left(\frac{x}{x_m} - \frac{y}{y_m}\right)^2 = 0, \text{ или } y = \frac{y_m}{x_m}x. \quad (7)$$

Точка движется по диагонали прямоугольника (рис. 3, кривая 1), ее расстояние от начала координат  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  меняется по закону

$$r = \sqrt{x_m^2 + y_m^2} |\cos(\omega t)|. \quad (8)$$

2. Разность фаз  $\varphi = \pm\pi$ . В этом случае уравнение (6) принимает вид

$$\left(\frac{x}{x_m} + \frac{y}{y_m}\right)^2 = 0, \text{ или } y = -\frac{y_m}{x_m}x, \quad (9)$$

и точка движется по другой диагонали прямоугольника (рис. 3, кривая 2).

3. Разность фаз  $\varphi = \pm\frac{\pi}{2}$ . В этом случае уравнение (6) имеет вид

$$\left(\frac{x}{x_m}\right)^2 + \left(\frac{y}{y_m}\right)^2 = 1. \quad (10)$$

Это уравнение эллипса, осями которого являются оси координат  $OX$  и  $OY$ . Полуоси эллипса равны  $x_m$  и  $y_m$  (рис. 4, кривая 3).

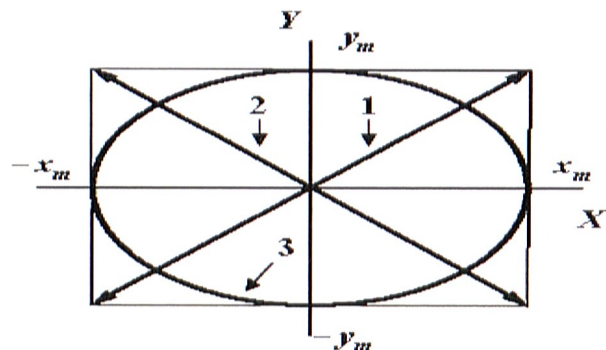


Рис. 4. Траектории на экране осциллографа при одинаковых частотах подаваемого напряжения и разностях фаз  $\varphi = 0$  и  $\varphi = \pm\frac{\pi}{2}$

В момент времени  $t=0$  точка находится в крайнем правом положении (рис. 5):  $x(0) = x_m$ ,  $y(0) = 0$ . При увеличении  $t$  координата  $x$  уменьшается, а координата  $y$  становится отрицательной и увеличивается по абсолютной величине, что соответствует движению точки по часовой стрелке. При  $\varphi = -\frac{\pi}{2}$  направление движения меняется на противоположное.

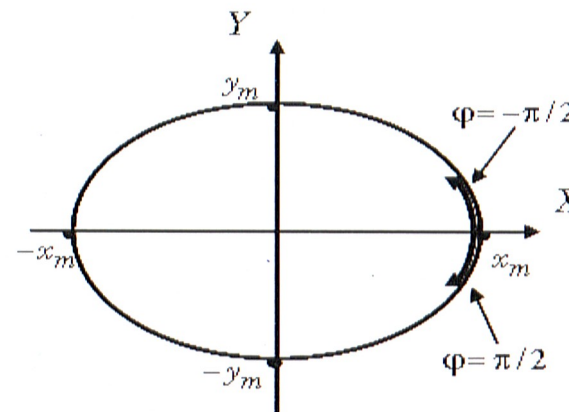


Рис. 5. Направления движения колеблющейся точки на экране осциллографа при одинаковых частотах подаваемого напряжения и разностях фаз  $\varphi = \pm\frac{\pi}{2}$

При равенстве амплитуд эллипс вырождается в окружность. Случаи  $\varphi = \frac{\pi}{2}$  и  $\varphi = -\frac{\pi}{2}$  отличаются направлением движения точки по эллипсу.

При  $\varphi = \frac{\pi}{2}$  зависимости координат точки от времени имеют вид

$$x(t) = x_m \cos(\omega t);$$

$$y(t) = -y_m \sin(\omega t).$$

Если разность фаз отлична от рассмотренных значений, эллипс может быть произвольно ориентирован относительно координатных осей (рис. 6).

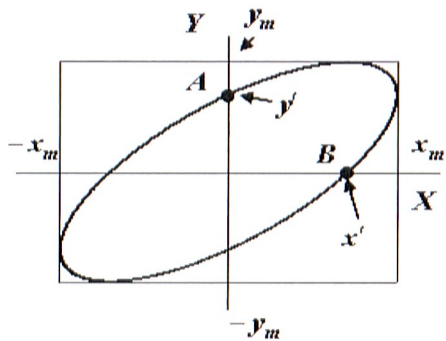


Рис. 6. Траектория на экране осциллографа при одинаковых частотах подаваемого напряжения и произвольной разности фаз

Разность фаз колебаний  $\varphi$  можно определить по тем отрезкам, которые эллипс отсекает на осях координат. Из уравнения (6) следует, что координаты точки A:  $x=0$ ,  $y'=y_m \sin(\varphi)$ , а координаты точки B:  $y=0$ ,  $x'=x_m \sin(\varphi)$ . Из этих уравнений определяется сдвиг фаз:

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{x'}{x_m}\right), \text{ или } \varphi = \arcsin\left(\frac{y'}{y_m}\right). \quad (11)$$

Рассмотрим теперь случай кратных частот. Например, при  $\omega_y = 2\omega_x$  уравнения колебаний имеют следующий вид:

$$x(t) = x_m \cos(\omega t); \quad y(t) = y_m \cos(2\omega t + \varphi).$$

Траектории результирующего движения для  $\varphi=0$  и  $\varphi=\pi/2$  приведены соответственно на рис. 7 и 8.

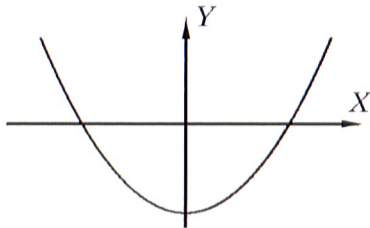


Рис. 7. Траектория на экране осциллографа при  $\omega_y = 2\omega_x$  и  $\varphi=0$

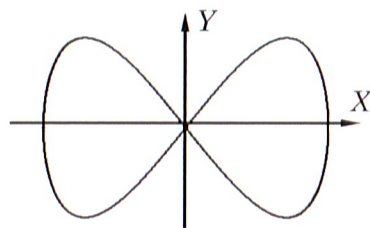


Рис. 8. Траектория на экране осциллографа при  $\omega_y = 2\omega_x$  и  $\varphi=\pi/2$

При других соотношениях частот могут получаться более сложные траектории. Например, на рис. 9 отношение частот складываемых колебаний  $\omega_y / \omega_x = 5$ , а на рис. 10  $\omega_y / \omega_x = 3/5$ .

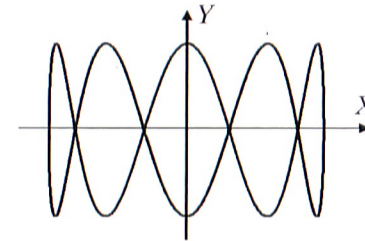


Рис. 9. Траектория на экране осциллографа при  $\omega_y = 5\omega_x$

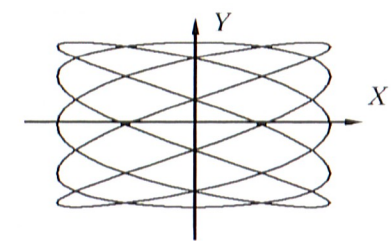


Рис. 10. Траектория на экране осциллографа при  $\omega_y = \frac{3}{5}\omega_x$

Эти траектории называются фигурами Лиссажу. С их помощью, зная частоту одного колебания, можно определить частоту другого. Для этого через фигуру Лиссажу проводят две прямые, перпендикулярные осям координат (эти прямые не должны проходить через точки самопересечения фигур Лиссажу). Подсчитывая число точек пересечения прямой, перпендикулярной оси X ( $n_x$ ) и перпендикулярной оси Y ( $n_y$ ), определяем отношение частот  $\omega_y / \omega_x = n_y / n_x$ . Отсюда при одной известной частоте находится другая.

Например, для случая, изображенного на рис. 11,  $n_x = 6$ ,  $n_y = 2$  и отношение частот  $\omega_y / \omega_x = 1/3$ .

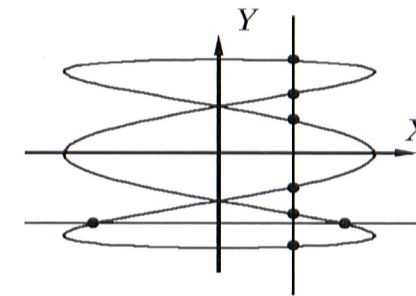


Рис. 11. Траектория на экране осциллографа при  $\omega_y = \frac{1}{3}\omega_x$



## Описание лабораторной установки

В установку входят два генератора синусоидальных электрических колебаний звуковых и ультразвуковых частот и осциллограф (рис. 12).

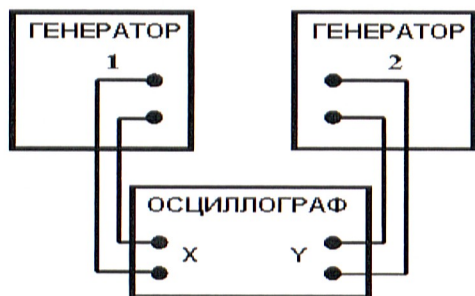


Рис. 12. Принципиальная схема лабораторной установки

На горизонтально отклоняющие пластины осциллографа подается переменное напряжение  $U_x(t)$  с частотой  $\nu_x = \frac{\omega_x}{2\pi}$ , на вертикально отклоняющие пластины – переменное напряжение  $U_y(t)$  с частотой  $\nu_y = \frac{\omega_y}{2\pi}$ .

Величина смещения луча на экране пропорциональна напряжению на входе осциллографа:  $x(t) = S_x \cdot U_x(t)$ ,  $y(t) = S_y \cdot U_y(t)$ . Здесь  $S_x$  и  $S_y$  – чувствительности этих пластин. Физический смысл чувствительности пластин – величина  $S_x$  равна смещению точки на экране вдоль оси  $X$  при напряжении на соответствующих пластинах  $U_x = 1$  В. Если на пластины подается переменное напряжение, то понятие чувствительности пластин требует уточнения. В этом случае чувствительностью называется отношение максимального смещения точки на экране осциллографа к амплитудному значению напряжения  $U_{x,m}$ . Поскольку вольтметр измеряет действующее

(эффективное) значение  $U_{x,эфф} = \frac{U_{x,m}}{\sqrt{2}}$ , то чувствительность горизонтально отклоняющих пластин

$$S_x = \frac{x_m}{U_{x,эфф} \sqrt{2}}. \quad (12)$$

Смещение луча на экране осциллографа определяется выражениями  $x(t) = x_m \cos(\omega_x t)$ ,  $y(t) = y_m \cos(\omega_y t + \varphi)$ , где  $\omega_x$  и  $\omega_y$  – циклические частоты колебаний:  $\omega_x = 2\pi\nu_x$ ,  $\omega_y = 2\pi\nu_y$ .

## Порядок выполнения работы

### 1. Определение чувствительности пластин осциллографа по переменному напряжению.

1. Подключить выход генератора к горизонтально отклоняющим пластинам осциллографа.

2. Установить частоту выходного сигнала регуляторами 1, 3, 4, 5 (см. приложение) равной 1 Гц, и наблюдать колебания точки.

3. Изменять напряжение выходного сигнала регуляторами 2, 3, 4, 5 в диапазоне от 0,1 до 4,0 В так, чтобы амплитуда колебаний составляла 3-4 больших деления осциллографа.

4. Установить частоту генератора равной 100 Гц.

5. Изменять величину выходного напряжения от 0 до максимально возможного (4-5 значений) и для каждого значения напряжения измерить по координатной сетке размах колебаний  $L_x$ . Величина  $L_x$  равна удвоенной амплитуде колебаний  $L_x = 2x_m$ , т. е. длине видимого на экране отрезка. Для каждого значения напряжения измерения нужно выполнить три раза, результаты измерений записать в табл. 1.

Чувствительность горизонтально отклоняющих пластин, согласно (12), определяется выражением

$$S_x = \frac{\bar{L}_x}{2U_{x,эфф} \sqrt{2}}, \quad (13)$$

где  $\bar{L}_x$  – среднее значение  $L_x$ ;  $U_{x,эфф}$  – эффективное (действующее) значение напряжения генератора (это значение показывает вольтметр,  $U_{эфф} = U_m / \sqrt{2}$ ,  $U_m$  – амплитудное значение напряжения).

Таблица 1

№ измерения	$U_{x,эфф}$ В	$L_x$			$\bar{L}_x$ мм	$S_x$ мм/В
		1 мм	2 мм	3 мм		
1						
2						
3						
4						
5						
$\bar{S}_x =$						

6. Подать напряжение генератора на вертикально отклоняющие пластины.

7. На той же частоте генератора выполнить измерения п. 5 для вертикально отклоняющих пластин. Результаты измерений записать в табл. 2. Чувствительность вертикально отклоняющих пластин определяется выражением:

$$S_y = \frac{\bar{L}_y}{2U_{y,эфф}\sqrt{2}}$$

Таблица 2

№ измерения	$U_{y,эфф}$ В	$L_y$			$\bar{L}_y$ мм	$S_y$ мм/В
		1 мм	2 мм	3 мм		
1						
2						
3						
4						
5						
$\bar{S}_y =$						

## II. Определение разности фаз и амплитуд складываемых колебаний одинаковой частоты.

1. Подключить к осциллографу оба генератора. Ручками регулировки 1, 3, 4, 5 (см. приложение, рис. 13) установить частоту, равную 1 Гц, на каждом из генераторов и наблюдать движение точки на экране по эллипсу.

2. Ручками регулировки 4 и 5 осциллографа поместить фигуру в центр экрана (приложение, рис. 14).

3. Амплитуду выходного сигнала на обоих генераторах установить так, чтобы фигура занимала большую часть экрана. Рекомендуемые значения: 2 или 4 В. Для этого использовать ручки регулировки 2, 3, 4, 5 генератора (см. приложение, рис. 13).

4. Частоту сигнала изменять ручками регулировки 1, 3, 4, 5 (см. приложение, рис. 13).

5. Зарисовать на миллиметровку фигуры Лиссажу в случае, когда они обладают максимальной симметрией относительно осей  $OX$  и  $OY$ . Добить-

ся этого можно, задав разность частот складываемых колебаний порядка 0,01–0,1 Гц и ожидая поворота фигуры до нужного положения.

6. Зарисовать на миллиметровку картинку с экрана осциллографа или сфотографировать ее с последующей распечаткой (по указанию преподавателя).

7. Измерить величины  $y'$ ,  $y_m$  (рис. 5).

8. Установить амплитуду сигнала по вертикали равной нулю. На экране осциллографа получится прямая, длина которой  $2x_m$  равна длине проекции эллипса на горизонтальную ось.

9. Восстановить прежнюю картинку, установить амплитуду сигнала равной нулю. Измерить длину проекции эллипса на вертикальную ось  $2y_m$ .

## III. Исследование фигур Лиссажу.

1. Собрать схему (рис. 12).

2. Установить на генераторах произвольные значения частот, при этом на экране осциллографа должна появиться хаотически меняющая свою форму кривая, практически полностью заполняющая прямоугольник.

3. Изменяя напряжения на выходах генераторов, добиться наибольших размеров прямоугольника.

4. Изменяя частоты генераторов, получить фигуры Лиссажу, соответствующие отношениям частот  $\nu_x:\nu_y = 1:2, 2:1, 1:3, 3:1, 2:3, 3:2$ . Зарисовать на миллиметровку или сфотографировать с последующей распечаткой (по указанию преподавателя) полученные кривые и на каждом рисунке записать значения частот генераторов.

## Обработка результатов измерений

1. Построить графики зависимостей  $\bar{L}_x$  от  $U_{x,эфф}$  и  $\bar{L}_y$  от  $U_{y,эфф}$ . Рассчитать чувствительности отклоняющих пластин  $S_x$  и  $S_y$  и погрешности их определения.

2. Определить разность фаз складываемых колебаний равной частоты и погрешность ее измерения.

3. Вычислить амплитуды напряжений  $U_{x,m}$  и  $U_{y,m}$ , приложенных к горизонтально и вертикально отклоняющим пластинам осциллографа.

4. Записать уравнения колебаний, в результате которых был получен эллипс.



### Контрольные вопросы

1. От каких величин зависит форма траектории частицы, участвующей в двух взаимно перпендикулярных колебаниях.

2. Каково условие замкнутости траектории точки, совершающей гармонические колебания во взаимно перпендикулярных направлениях?

3. Используя формулу (6), запишите уравнения траекторий, получающихся при разности фаз складываемых колебаний  $\varphi = 0, \pm \frac{\pi}{2}, \pm \pi$ .

4. Что называется фигурой Лиссажу?

5. Каким образом по фигуре Лиссажу определить отношение частот складываемых колебаний?

6. Что называется чувствительностью отклоняющих пластин осциллографа? В каких единицах она измеряется?

7. Нарисуйте траектории точек, получающиеся при сложении двух взаимно перпендикулярных колебаний одной частоты в следующих случаях:

а)  $x_m = y_m; \varphi = \pi/2$ ;

б)  $x_m = 2y_m; \varphi = -\pi/2$ ;

в)  $x_m = y_m/2$ ;

г)  $x_m = 0; y_m \neq 0$ .

8. Нарисуйте траекторию точки, колеблющейся вдоль оси  $OX$ :  $x(t) = 2\cos(\omega t)$ , а вдоль оси  $OY$ :  $y(t) = \cos(2\omega t)$ .

9. Чувствительность горизонтальных отклоняющих пластин осциллографа  $S_x = 2$  мм/В, чувствительность вертикальных отклоняющих пластин  $S_y = 4$  мм/В. Нарисуйте на миллиметровой бумаге фигуры, получающиеся на экране осциллографа при подаче на его пластины следующих пар сигналов (значения напряжений указаны в вольтах):

а)  $U_x(t) = 10\cos(50t + \varphi); U_y(t) = 5\cos(50t + \varphi)$ ;

б)  $U_x(t) = 10\cos(50t); U_y(t) = 10\cos(50t)$ ;

в)  $U_x(t) = 10\cos(50t); U_y(t) = 5\cos\left(50t + \frac{\pi}{2}\right)$ ;

г)  $U_x(t) = 10\cos(50t); U_y(t) = 10\cos\left(50t + \frac{\pi}{2}\right)$ .

### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Андреев, А. Д.* Обработка результатов измерений в физическом практикуме / А. Д. Андреев, Л. М. Черных ; СПбГУТ. – Санкт-Петербург, 2009. – 19 с.

2. *Андреев, А. Д.* Физика. Колебания : конспект лекций / А. Д. Андреев, Л. М. Черных ; СПбГУТ. – Санкт-Петербург, 2013. – 38 с.

3. *Савельев, И. В.* Курс общей физики. Т. 1 / И. В. Савельев. – Москва : Наука, 1970. – 517 с.

4. *Сивухин, Д. В.* Общий курс физики. Т. 1. Механика / Д. В. Сивухин. – Москва : Наука, 1979. – 520 с.

## Приложение

### РЕГУЛИРОВКА ГЕНЕРАТОРА

Ручки регулировки генератора, изображенные на рис. 13, выполняют следующие функции:

- 1 – задает режим изменения частоты выходного сигнала;
- 2 – задает режим изменения напряжения выходного сигнала;
- 3 – изменяет значения параметра выходного сигнала, заданного при выборе режима (кнопками регулировки 1 или 2);
- 4, 5 – выбирают тот десятичный разряд в значении параметра, который изменяется ручкой регулировки 3;
- 6 – включает подачу выходного сигнала.

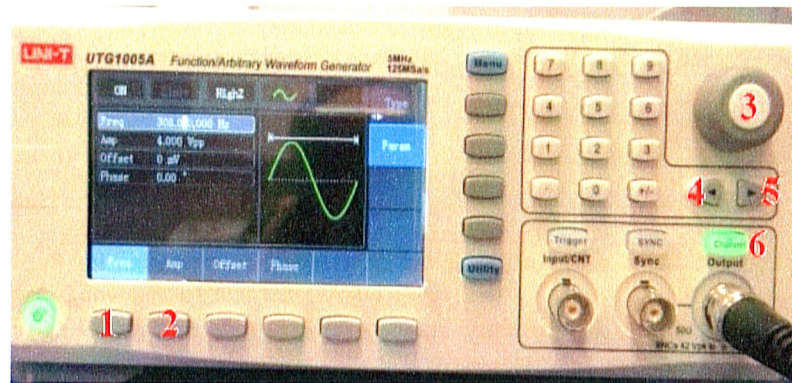


Рис. 13. Генератор электрических колебаний

Ручки регулировки осциллографа, изображенные на рис. 14, выполняют следующие функции:

- 1 – задает масштаб по вертикальной оси  $U(t)$  в вольтах на одно большое деление масштабной сетки;
- 2 – задает масштаб времени по горизонтальной оси в миллисекундах или в микросекундах в расчете на одно большое деление масштабной сетки;
- 3 – плавно регулирует масштаб напряжения; ручка регулировки должна находиться в крайнем правом положении;
- 4 – перемещает график в вертикальном направлении;
- 5 – перемещает график в горизонтальном направлении;
- 6 – регулирует яркость изображения.

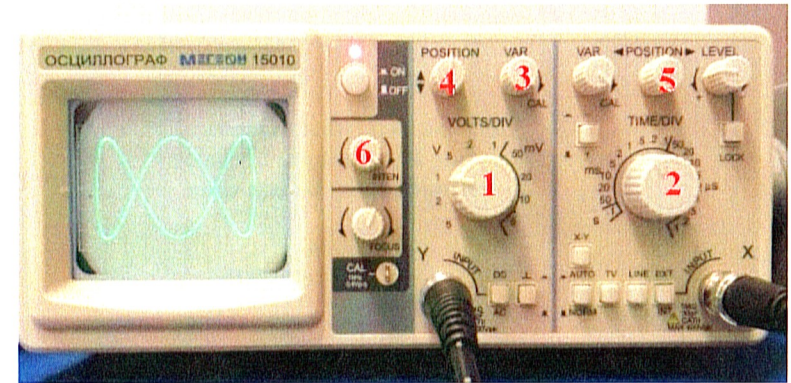


Рис. 14. Осциллограф