

**МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
**Федеральное государственное бюджетное**  
**образовательное учреждение высшего образования**  
**«Российский университет транспорта (МИИТ)»**

---

**Институт управления и информационных технологий**

**Кафедра «Физика»**

**Н.Н. Ляпушкин, В.С. Антипенко, Е.В. Васильев**

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ**

**Учебно-методическое пособие**  
**к лабораторным работам 73, 125**

**МОСКВА – 2017**

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Российский университет транспорта (МИИТ)»

---

Институт управления и информационных технологий

Кафедра «Физика»

Н.Н. Ляпушкин, В.С. Антипенко, Е.В. Васильев

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ

Учебно-методическое пособие  
к лабораторным работам 73, 125

*Под редакцией профессора Ляпушкина Н.Н.*

Учебно-методическое пособие  
для студентов специальностей  
ИТТСУ, ИПСС

МОСКВА – 2017

УДК 537

Л97

Ляпушкин Н.Н., Антипенко В.С., Васильев Е.В. Электромагнитные колебания и волны: Учебно-методическое пособие к лабораторным работам 73, 125 / Под ред. профессора Н.Н. Ляпушкина – М.: РУТ (МИИТ), 2017. – 22 с.

Учебно-методическое пособие содержит описания лабораторных работ по общему курсу физики, разделу «Электромагнитные колебания и волны» и соответствует рабочим программам и учебным планам, разработанным для студентов первого и второго курсов энергетических, строительных и механических специальностей ИУИТ, ИТ-ТСУ и ИПСС. Темы работ: измерения частоты методом двойной круговой развёртки (фигуры Лиссажу), изучение работы электронного осциллографа, методики измерения амплитуды и периода непрерывных электромагнитных колебаний.

Авторы: доцент Антипенко В.С. – работа 73;  
профессор Ляпушкин Н.Н. – работа 125;  
зав. лабораторией Васильев Е.В. – работа 125.

Ил. 11, табл. 5.

Рецензент д.т.н., профессор кафедры «Электропоезда и локомотивы» РУТ (МИИТ) Ю.М. Иньков.

©РУТ (МИИТ), 2017

## Работа 73

### ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ ГЕНЕРАТОРА МЕТОДОМ ДВОЙНОЙ КРУГОВОЙ РАЗВЁРТКИ

**Цель работы:** изучение теории и практики использования фигур Лиссажу для измерения частоты исследуемого сигнала.

**Приборы и принадлежности:** модуль ФПЭ 20 исследуемых колебаний, генератор эталонных колебаний, осциллограф, источник питания.

#### Введение

В повседневной практике нередко возникает необходимость в измерении частот быстротекущих процессов. Одним из методов измерения этих частот является использование модуля ФПЭ 20 – генератора опорной известной частоты методом двойной круговой развёртки с помощью теории о *фигурах Лиссажу*. Фигуры Лиссажу появляются на экране осциллографа, на входе которого  $X$  и  $Y$  подаются напряжения искомой частоты. На передней панели ФПЭ 20 изображается упрощенная принципиальная электрическая схема, в частности, выходы  $X$  и  $Y$ . Вверху слева находится ручка управления частотой колебаний и переключатель импульсов. Обычно используется прямоугольная форма импульсов.

Сигнал внутреннего генератора опорной частоты оси  $X$  поступает на вход « $X$ » осциллографа и на смеситель с соответствующим сдвигом фазы « $\alpha$ ». На смеситель подаётся сигнал внешнего генератора известной частоты  $\omega_n$ . Суммарный сигнал подаётся через выходные клеммы на вход « $Y$ » осциллографа.

При воздействии только сигналов частоты  $\omega_n$  на экране возникает изображение горизонтального эллипса.

При подаче на модуль дополнительно сигнала неизвестной частоты  $\omega_x$  на развёртке появляется его изображение. Количество прямоугольных импульсов « $n$ » на эллипсе определяют соотношение частот:

$$\frac{\omega_x}{\omega_n} = n \quad (1)$$

Зная частоту  $\omega_n$  и подсчитав число импульсов  $n$  на осциллограмме можно найти частоту  $\omega_x$ .

### Теория

Рассмотрим сложение двух гармонических колебаний одинаковой частоты, происходящих во взаимно перпендикулярных направлениях вдоль осей X и Y:

$$\begin{aligned} x &= a \cos \omega t \\ y &= b \cos(\omega t + \alpha) \end{aligned} \quad (2)$$

где,  $\omega$  – частота колебания,  $a, b$  – амплитуды колебаний вдоль осей X и Y соответственно.

Тогда из формул (2) получаем:

$$\begin{aligned} \cos \omega t &= \frac{x}{a}, \quad \sin \omega t = \sqrt{1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2}, \\ \frac{y}{b} &= \cos(\omega t + \alpha) = \cos \omega t \cdot \cos \alpha - \sin \omega t \cdot \sin \alpha = \\ &= \frac{x}{a} \cos \alpha - \sqrt{1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2} \sin \alpha \end{aligned}$$

Возведя во вторую степень, имеем:

$$\left(\frac{y}{b}\right)^2 + \left(\frac{x}{a}\right)^2 \cos^2 \alpha - 2 \frac{xy}{ab} \cos \alpha = \left(1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2\right) \sin^2 \alpha$$

или:

$$\left(\frac{y}{b}\right)^2 + \left(\frac{x}{a}\right)^2 - 2 \frac{xy}{ab} \cos \alpha = \sin^2 \alpha. \quad (3)$$

Рассмотрим частные случаи:

1.  $\alpha = 0$ .

В этом случае выражение (3) принимает вид:

$$\left(\frac{x}{a} - \frac{y}{b}\right)^2 = 0 \Rightarrow y = \frac{b}{a}x$$

График этой функции представлен на рис. 1:

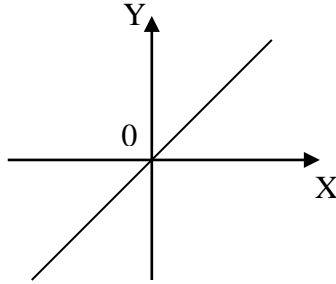


Рис. 1

2.  $\alpha = \pm\pi$ .

В этом случае выражение (3) принимает вид:

$$\left(\frac{y}{b} + \frac{x}{a}\right)^2 = 0 \Rightarrow y = -\frac{b}{a}x$$

График этой функции приведен на рис. 2:

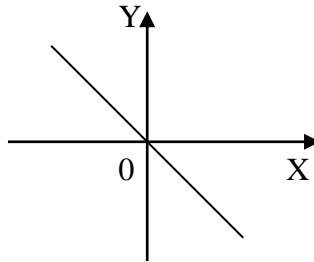


Рис. 2

3.  $\alpha = \pm\frac{\pi}{2}$ .

Тогда выражение (3) принимает вид:

$$\left(\frac{y}{b}\right)^2 + \left(\frac{x}{a}\right)^2 = 1.$$

Графики этой функции имеют вид:

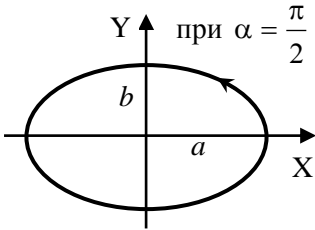


Рис. 3

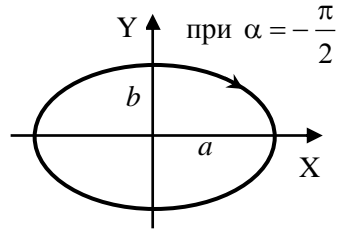


Рис. 4

Если частоты взаимно перпендикулярных колебаний не одинаковы, то траектория результирующего движения имеет вид сложных кривых, которые и называются *фигуры Лиссажу*.

Например, уравнения колебаний при кратном отношении частот имеют вид:

$$x = a \cos \omega t$$

$$y = b \cos(2\omega t + \alpha), \text{ где } \alpha = \frac{\pi}{2},$$

а график приведен на рис. 5:

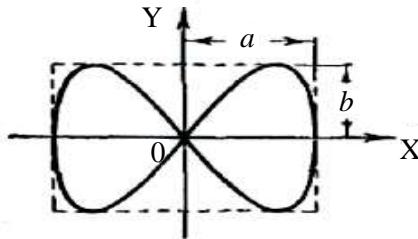


Рис. 5

За время, пока вдоль оси  $X$  точка успевает переместиться из одного крайнего положения в другое, вдоль оси  $Y$  она успевает достигнуть одного крайнего положения, затем другого и вернуться в начальное положение.

При отношении частот  $1 : 2$  и разности фаз, равной нулю, траектория вырождается в незамкнутую кривую, по которой точка движется туда и обратно (рис. 6):

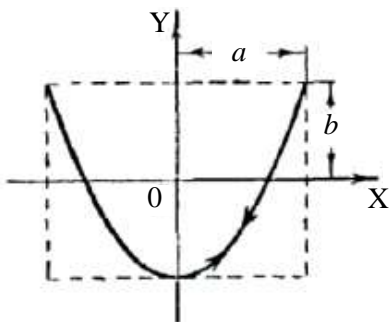


Рис. 6

### Порядок выполнения работы

1. Соберите схему, изображенную на рис. 7.

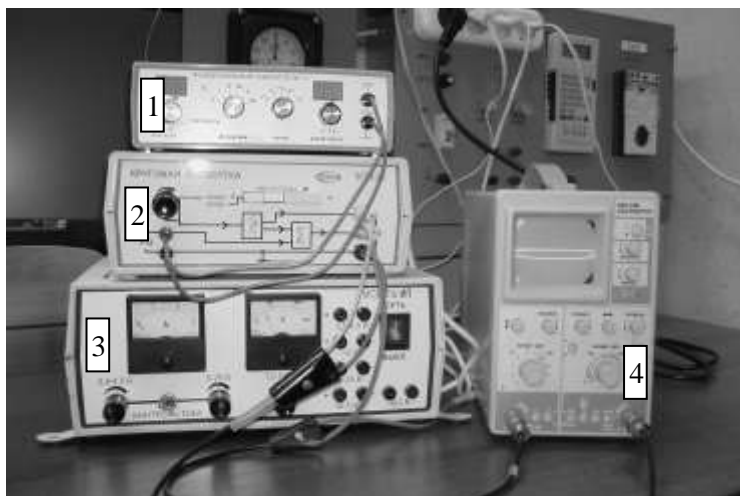


Рис. 7 1 – генератор колебаний с известной частотой  $\omega_n$  ФГ-1;  
 2 – модуль ФПЭ-20, генерирующий сигнал с неизвестной частотой  $\omega_x$ ;  
 3 – источник питания ИП; 4 – осциллограф ОСУ-10В.



2. Отключив сигнал со входа «Y», получите изображение горизонтального эллипса.
3. Измените частоту  $\omega_n$ , получив изображение итоговой осциллограммы, и подсчитайте количество импульсов – «выступов».
4. Повторите пункт 3 для пяти значений частоты  $\omega_n$ .

### Обработка результатов измерений

1. По формуле (1) вычислите значение частоты  $\omega_x$  для измерений  $n_2, n_3, \dots, n_k$ .

Таблица 1

$\omega_n$ , Гц	Количество «выступов» $n$	$\omega_x$ , Гц

2. Вычислите частоту исследуемого сигнала  $\omega_x$  для каждого  $n$  по формуле (1).
3. Вычислите среднее значение частоты  $\omega_x$  и ошибку измерения по методике Стьюдента:

$$\omega_{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \omega_x;$$

$$\Delta\omega_{cp} = \alpha S,$$

где  $\alpha$  – коэффициент Стьюдента для доверительной вероятности 0,95;

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m (\omega_{cp} - \omega_x)^2}{(m-1)m}}.$$

## Контрольные вопросы

- 1) В чём заключается цель лабораторной работы?
- 2) Для чего в данной работе используется осциллограф?
- 3) Что называется фигурами Лиссажу?
- 4) Какова роль начальной фазы  $\alpha$  в формировании фигур Лиссажу?
- 5) Пользуясь выражением (2), объясните форму получающейся фигуры Лиссажу в случае  $\alpha = \pm \pi/2$ .
- 6) Объясните форму получающихся фигур Лиссажу в случаях, изображённых на рис. 5.
- 7) Объясните форму получающихся фигур Лиссажу в случаях, изображённых на рис. 6.
- 8) Как должны быть связаны частоты известного и исследуемого сигналов с тем, чтобы можно было наблюдать фигуры Лиссажу?

## Список литературы

1. Савельев И. В. Курс общей физики в 3-х томах. Т. 2. – СПб.: Лань, 2016. – 480 с. <http://library.miit.ru>, <http://e.lanbook.com>
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Курс физики. – М.: Академия, 2015. – 720 с. <http://library.miit.ru>, ЭБС «Академия».
3. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Академия, 2016. – 560 с. <http://library.miit.ru>, ЭБС «Академия».

## Работа 125

### ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ МЕТОДОМ ДВОЙНОЙ КРУГОВОЙ РАЗВЁРТКИ

**Цель работы.** Изучение электронного осциллографа и применение его для наблюдения формы сигнала, измерения амплитуды и частоты исследуемого сигнала, а также для изучения взаимно перпендикулярных колебаний и измерения частоты методом двойной круговой развёртки (фигуры Лиссажу).

#### Введение

В современной лабораторной практике широко применяется осциллографический метод исследования быстропеременных процессов, достоинствами которого являются его наглядность и безынерционность.

#### Принцип действия электронного осциллографа

Основной элемент осциллографа – электроннолучевая трубка (ЭЛТ). Она предназначена для создания узкого пучка движущихся электронов и отклонения их от прямолинейного распространения в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Отклонение пучка электронов происходит под действием внешних электрических сигналов и пропорционально их величине. Характер отклонения электронов в трубке позволяет получить информацию о форме сигнала, так как место нахождения электронного пучка в любой момент времени фиксируется.

ЭЛТ (см. рис. 1) представляет собой стеклянный баллон, из которого откачан воздух и внутри которого расположены электронная пушка и две пары отклоняющих пластин – горизонтальные (ОГП) и вертикальные (ОВП). Для фиксации положения пучка электронов используется тонкий слой люминофора (Л), нанесенный на внутреннюю поверхность передней части трубки.

Электронная пушка состоит из подогреваемого катода К, управляющей сетки С и анодов А<sub>1</sub> и А<sub>2</sub>. Катод имеет форму цилиндра, сетка и аноды – коаксиальные с ним цилиндры. Геометрические оси трубки и

пушки совпадают. Потенциал катода принимается за ноль (это условие соблюдается, как правило, и при рассмотрении любой другой электронной лампы), а потенциалы других элементов рассматриваются относительно потенциала катода. Потенциал сетки  $U_c$  отрицателен и обычно равен нескольким десяткам вольт. Потенциалы анодов положительны, причем потенциал первого анода  $U_1$  меньше потенциала второго  $U_2$ . Потенциал  $U_2$  достигает нескольких сот вольт. Подогреваемый катод (катод косвенного накала) имеет постоянный накал и служит источником электронов. Управляющая сетка регулирует величину потока электронов, прошедших через сетку. Это достигается изменением потенциала сетки. Управляющая сетка частично фокусирует электронный пучок. Аноды  $A_1$  и  $A_2$  предназначены, для ускорения потока электронов и его окончательной фокусировки.

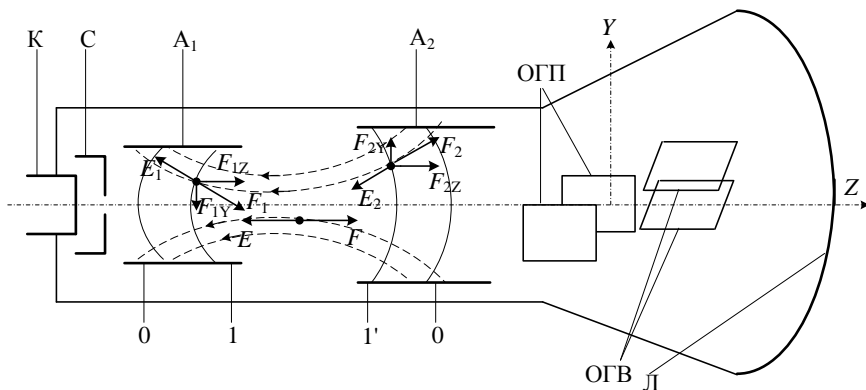


Рис. 1

На рисунке 1 показаны линии напряженности и линии равного потенциала электрического поля, создаваемого двумя анодами. Как известно, направление вектора напряженности совпадает с направлением силы, действующей на положительный заряд, а направление вектора силы, действующей на электронный пучок, и вектор напряженности противоположны. Как видно из рисунка 1, направления вектора силы различны на различных участках движущегося электронного пучка. На электронный пучок на всех участках его движения вдоль оси трубки действуют силы  $F_{1Z}$ ,  $F$ ,  $F_{2Z}$ . За счёт этого скорость элект-

ронов увеличивается, то есть  $v_1 > v_2$ . Радиальная составляющая силы  $F_y$  на участке  $0 - 1$  отклоняет электронный пучок к оси ЭЛТ, на участке  $1 - 1'$ , она отсутствует, на участке  $1' - 0$  составляющая  $F_y$  удаляет пучок от оси.

Итак, при правильном выборе формы анодов и их потенциалов, система будет обладать фокусирующими свойствами, то есть вести себя подобно оптической линзе (электростатическая линза).

Сфокусированный электронный пучок управляется отклоняющими пластинами, которые представляют собой два плоских конденсатора расположенных перпендикулярно друг другу.

При достаточно большой скорости движения луча по экрану за счёт послесвечения люминофора, наблюдается светящийся след. Если же разность потенциалов на отклоняющих пластинах изменяется со временем, то соответственно изменяется и отклонение луча. Для наблюдения формы сигнала, его подают на вертикально отклоняющие пластины, а на горизонтальные отклоняющие пластины подаётся сигнал специальной формы.

Пусть напряжение на вертикально отклоняющих пластинах изменяется по закону

$$U_y = U_0 \sin \omega t,$$

а на горизонтально отклоняющих пластинах изменяется по закону

$$U_x = kt,$$

где  $U_0$ ,  $k$  и  $\omega$  – некоторые постоянные.

Тогда отклонения электронов в направлениях осей  $X$  и  $Y$  соответственно равны

$$X = kt, \tag{1}$$

$$Y = Y_0 \sin \omega t. \tag{2}$$

Исключив из уравнений (1) и (2) время, получим уравнение траектории движения электронного луча в плоскости  $XY$  в виде

$$Y = Y_0 \sin \omega(X/k). \tag{3}$$

Это означает, что траектория электронного луча имеет вид, соответствующий временной зависимости разности потенциалов электрического сигнала, поданного на вертикально отклоняющие пластины, то есть сигнал, оказывается развернутым во времени.

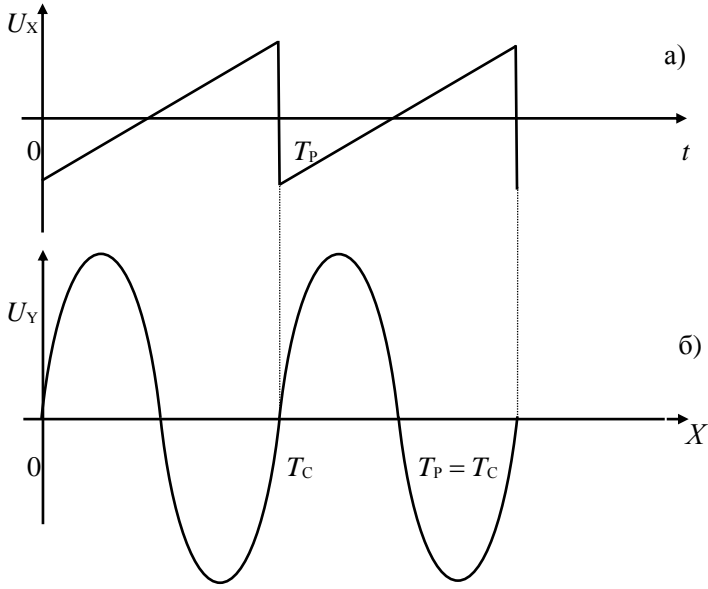


Рис. 2

Таким образом, для наблюдения формы исследуемого сигнала на горизонтально отклоняющие пластины  $X$  подается напряжение, изменяющееся линейно со временем (оно создается генератором развертки, находящимся внутри осциллографа), а на вертикально отклоняющие пластины  $Y$  – исследуемый сигнал.

На рисунке 2а показана форма сигнала, подаваемого на горизонтально отклоняющие пластины с генератора развертки. Спустя время, равное периоду развертки  $T_p$ , траектория пучка электронов повторяется. Условием периодического повторения траектории движения электронов является равенство  $T_p$  периоду сигнала, подаваемого на вертикально отклоняющие пластины  $T_c$  (рис. 2б). При этом сигнал с генератора развертки синхронизирован с исследуемым сигналом, а изображение траектории луча на экране осциллографа кажется неподвижным.

## Порядок выполнения работы

### 1 ОЗНАКОМЛЕНИЕ С ОСЦИЛЛОГРАФОМ, С НАЗНАЧЕНИЕМ РУЧЕК УПРАВЛЕНИЯ. ИЗМЕРЕНИЕ АМПЛИТУДЫ И ЧАСТОТЫ СИГНАЛА

**Приборы и принадлежности:** осциллограф, звуковые генераторы (ЗГ1 и ЗГ2), соединительные кабели.

На рис. 3 представлен внешний вид установки.

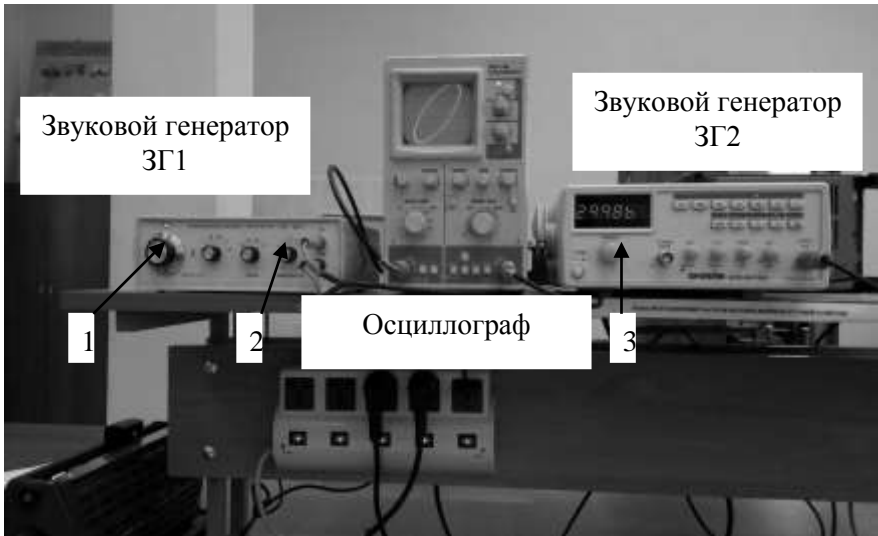


Рис. 3

Назначение ручек управления звуковых генераторов:

- 1 – ручка установки частоты ЗГ1;
- 2 – ручка установки величины выходного напряжения ЗГ1;
- 3 – ручка установки частоты ЗГ2.

Наименование и назначение ручек управления и входов осциллографа ОСУ-10В приведены в таблице 1.

Таблица 1

	Наименование и назначение ручек управления и входов
1	Кнопка «ВКЛ/ВЫКЛ» для включения и выключения прибора;
2	Ручка регулировки яркости луча;
3	Ручка для регулировки фокусировки;
4	Ручка «ПЛАВНО» для регулировки частоты развёртки;
5	Клемма «1кГц/0,5 В» выход калиброванного сигнала;
6	Ручка для перемещения луча по горизонтали;
7	Ручка «УРОВЕНЬ» для выбора уровня запуска развертки;
8	Кнопка блокировки ручки «УРОВЕНЬ»;
9	Ручка переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ» для выбора необходимой длительности развертки;
10	Кнопка «X-Y» для подключения и отключения усилителя горизонтального отклонения к коаксиальному гнезду «ВХОД X»;
11	Кнопка включения внутренней синхронизации частотой питающей сети;
12	Кнопка выбора синхронизации: исследуемым сигналом (кнопка отжата), внешним сигналом (кнопка нажата);
13	Коаксиальное гнездо «ВХОД X» для подключения сигнала внешней синхронизации или подачи внешнего сигнала на усилитель горизонтального отклонения;
14	Ручка перемещения луча по вертикали;
15	Коаксиальное гнездо «ВХОД Y» для подключения исследуемых сигналов на усилитель вертикального отклонения (УВО);
16	Ручка переключателя «ВОЛЬТ/ДЕЛ» для установки необходимого коэффициента отклонения УВО;
17	Кнопка переключателя УВО:
	кнопка нажата – открытый вход УВО;
	кнопка отжата – закрытый вход УВО;
18	Ручка «ПЛАВНО» для регулировки усиления УВО;
19	Кнопка переключателя полярности синхронизации: кнопка отжата – синхронизация положительным перепадом исследуемого сигнала; кнопка нажата – синхронизация отрицательным перепадом исследуемого сигнала;
20	Кнопка выбора режима работы генератора развертки: ждущий режим – кнопка отжата, автоколебательный режим – кнопка нажата;



## Подготовка осциллографа ОСУ-10В к измерению

1. Перед началом работы ознакомьтесь с передней панелью осциллографа, представленной на рис. 4.

2. Перед включением прибора в сеть предварительно установите ручки управления в следующие положения (см. рис. 4 и табл. 1):

2, 3, 6, 7, 9, 14, 16 – в среднее положение;

4, 18 – в крайнее правое положение;

20 – в положение «нажата»;

остальные кнопки – в положение «отжата»;

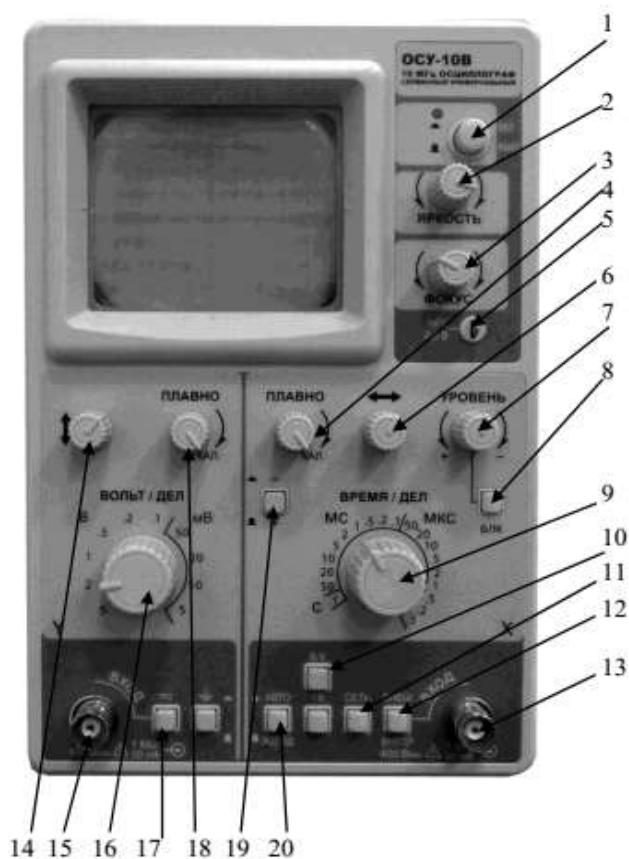


Рис. 4.

3. Шнур питания прибора соедините с источником напряжения, кнопкой «ВКЛ/ВЫКЛ» включите прибор. При этом должна загореться сигнальная лампочка.

4. Через 2 – 3 мин после включения прибора следует отрегулировать яркость и фокусировку линии развертки с помощью ручек 2, 3.

5. Если при максимальной яркости на экране не будет луча, необходимо при помощи ручек 6, 14 переместить его в пределы рабочей зоны экрана;

6. Сигнальный конец кабеля «ВХОД Y» подключить к клемме 5 «1 кГц/0,5 В», при этом на экране должно появиться изображение калиброванного напряжения.

7. Следует проверить калибровку коэффициента развёртки. Для этого переключатель 9 установите в положение «1 МС», и ручкой 7 добейтесь устойчивого изображения 10 периодов напряжения калибратора.

8. К выполнению работы приступайте только после ознакомления с назначением ручек управления прибором: их положение должно соответствовать проводимым измерениям.

**Измерение амплитуды исследуемого сигнала** производится следующим образом. На гнездо «ВХОД Y» усилители вертикального отклонения (УВО) подается исследуемый сигнал от звукового генератора ЗГ1. Величина сигнала ЗГ1 устанавливается по указанию преподавателя ручкой управления 2 «Амплитуда». При помощи ручек 6 и 14 осциллографа сигнал совмещают с нужными делениями шкалы и измеряют размах изображения по вертикали в делениях.

Положение переключателя 16 – «ВОЛЬТ/ДЕЛ» необходимо выбрать так, чтобы размер исследуемого сигнала получался наибольшим в пределах рабочей части экрана. Ручку 18 – «ПЛАВНО» поставить в положение «КАЛ».

Величина исследуемого сигнала в вольтах будет равна произведению измеренной величины изображения в делениях, умноженной на цифровую отметку показаний переключателя «ВОЛЬТ/ДЕЛ».

Измерения проведите для двух положений ручки «ВОЛЬТ/ДЕЛ» и двух значений напряжения исследуемого сигнала (по указанию преподавателя). Результаты измерений занесите в таблицу 2. Сравните

результаты измерения напряжений данного сигнала при различных положениях ручки «ВОЛЬТ/ДЕЛ».

Таблица 2

№ п/п	Ручка переключателя «ВОЛЬТ/ДЕЛ»	Цена деления сетки экрана осциллографа $U_c$ , В /дел	Амплитуда исследуемого сигнала $m$ , дел	$U = mU_c$ , В
1	0,2			
2	0,5			
3	1			
4	2			

**Частоту исследуемого сигнала можно определить**, измерив его период  $T_c$ :

$$\nu = \frac{1}{T_c} \quad (6)$$

На гнездо «ВХОД Y» УВО подается исследуемый сигнал от ЗГ1 и регулируется его величина (см. предыдущий раздел). Частоту ЗГ1 устанавливают по указанию преподавателя в пределах от 100 Гц до 400 Гц.

Положение переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ» выбирается так, чтобы в пределах рабочей части экрана уложился, как минимум, один периода сигнала. Ручку **4** – «ПЛАВНО» поставить в положение «КАЛ».

Таблица 3

№ п/п	Частота генератора, $\nu_0$ , Гц	Длительность развертки, $T_p$ «ВРЕМЯ/ДЕЛ», с	Число делений сетки экрана в одном периоде	Период сигнала, $T_c = nT_p$ , с	Частота сигнала $\nu = \frac{1}{T_c}$ , Гц
1					
2					
3					
4					

**Период исследуемого сигнала** определяется произведением числа делений сетки экрана, уложившихся в одном периоде, на цифровую отметку показаний переключателя «ВРЕМЯ/ДЕЛ»:

$$T_c = nT_p. \quad (7)$$

Проведите измерения ещё двух-трёх частот сигналов (по указанию преподавателя). Полученные данные занесите в табл. 3. Сравните данные измерений с соответствующими частотами сигналов, подаваемых со звукового генератора.

## 2. ПРИМЕНЕНИЕ ОСЦИЛЛОГРАФА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВЗАИМНО ПЕРПЕНДИКУЛЯРНЫХ КОЛЕБАНИЙ. ИЗМЕРЕНИЕ ЧАСТОТЫ ИССЛЕДУЕМОГО СИГНАЛА

Подготовьте осциллограф и звуковые генераторы к работе. Для этого выполните указания, изложенные в пунктах 1 – 6 первой части настоящей работы.

### **Определение частоты исследуемого сигнала с помощью фигур Лиссажу**

1. На гнездо «ВХОД Y» УВО подается сигнал  $v_y$  от ЗГ1, частоту которого необходимо измерить, нажимается кнопка «X–Y» и на вход усилителя горизонтального отклонения через гнездо «ВХОД X» подается сигнал генератора образцовой частоты  $v_x$  от генератора ЗГ2.

2. Получите на экране осциллографа несколько устойчивых фигур Лиссажу, изменяя частоту звукового генератора ЗГ2, в пределах от 100 до 400 Гц. Частоту ЗГ2, соответствующую каждой из выделенных фигур, зафиксируйте. Полученные данные занесите в таблицу 4.

Таблица 4

№ п/п	Частота генератора $\nu_x$ , Гц	Вид фигуры	$\frac{n_x}{n_y}$	Частота сигнала $\nu_y = \nu_x \frac{n_x}{n_y}$ , Гц	Средняя частота сигнала $\nu_{\text{уср}}$ , Гц
1					
2					
3					
4					
5					

Определение частоты неизвестного сигнала осуществляется с помощью фигур Лиссажу, которые получаются путём сложения взаимно перпендикулярных гармонических колебаний с кратными частотами и подробно рассмотрены в [2], [3]:

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

или

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

Уравнение результирующего движения точки имеет  $n_x$  корней по  $x$  и  $n_y$  корней по  $y$ . Графически это означает, что координатные оси  $X$  и  $Y$  пересекаются сложной фигурой  $n_x$  и  $n_y$  раз соответственно. Отношение частот складываемых колебаний равно:

$$\frac{\nu_y}{\nu_x} = \frac{n_x}{n_y},$$

где  $\nu_x$  и  $\nu_y$  – частоты колебаний вдоль соответствующих осей.

Отсюда следует, что частота исследуемого сигнала

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

## Контрольные вопросы

1. Для чего используется электронный осциллограф?
2. Расскажите о назначении ручек управления осциллографа.
3. Назовите основные элементы электроннолучевой трубки и их назначение.
4. Как с помощью осциллографа измерить напряжение исследуемого сигнала?
5. Как с помощью осциллографа измерить частоту исследуемого сигнала?
6. Как получить на экране осциллографа фигуры Лиссажу?
7. Для чего и как используются фигуры Лиссажу?

## Список литературы

1. Савельев И. В. Курс общей физики в 3-х томах. Т. 2. – СПб.: Лань, 2016. – 480 с. <http://library.miit.ru>, <http://e.lanbook.com>
2. Детлаф А.А., Яворский Б.М., Курс физики. – М.: Академия, 2015. – 720 с. <http://library.miit.ru>, ЭБС «Академия».
3. Трофимова Т.И. Курс физики. – М.: Академия, 2016. – 560 с. <http://library.miit.ru>, ЭБС «Академия».

## Содержание

Работа № 73	Измерение частоты генератора методом двойной круговой развёртки	3
Работа № 125	Измерение частоты методом двойной круговой развёртки	10

Учебно-методическое издание

**Ляпушкин Николай Николаевич**  
**Антипенко Виталий Сафронович**  
**Васильев Евгений Васильевич**

Электромагнитные колебания и волны  
Учебно-методическое пособие  
к лабораторным работам  
по дисциплине «Физика» 73, 125

*Под редакцией профессора Ляпушкина Н.Н.*

---

Тираж 100 экз.

Изд. № 176-17

Москва, Копировальный центр PrintSide