

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
МАТЕМАТИКО-МЕХАНИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ  
КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Отчёт по лабораторной работе №2-2

**«Электронный осциллограф»**

Выполнил студент:

Белобородов Дмитрий Александрович  
группа: 23.C02-мм

Проверил:

к.ф.-м.н., доцент  
Кац Виктор Михайлович

Санкт-Петербург, 2025 г.

# Содержание

<b>1</b>	<b>Введение</b>	<b>2</b>
1.1	Задачи работы . . . . .	2
<b>2</b>	<b>Основная часть</b>	<b>2</b>
2.1	Теоретическая часть . . . . .	2
	Электронно-лучевая трубка . . . . .	2
	Блок-схема осциллографа . . . . .	4
2.2	Эксперимент . . . . .	4
2.3	Обработка данных и обсуждение результатов . . . . .	7
	Исходный код . . . . .	8
	Графики . . . . .	8
<b>3</b>	<b>Выводы</b>	<b>8</b>

# 1 Введение

Осциллограф является одним из важнейших исследовательских приборов. Чаще всего он применяется для наблюдения и исследования переменных во времени электрических сигналов.

## 1.1 Задачи работы

1. Исследовать чувствительность пластин вертикального и горизонтального отклонений осциллографической трубки.
2. Наблюдать с помощью осциллографа синусоидальное напряжение, полученное с выхода генератора.
3. Получить фигуры Лиссажу и определить частоту исследуемого напряжения по фигурам Лиссажу.

## 2 Основная часть

### 2.1 Теоретическая часть

#### Электронно-лучевая трубка

Основным рабочим элементом осциллографа является электронно-лучевая трубка.

Для возникновения термоэлектронной эмиссии катод трубки нагревают, подавая на его нагреватель переменное напряжение. Высвободившиеся электроны ускоряются электрическим полем и движутся к аноду. На их пути расположен фокусирующий электрод, который формирует электроны в узкий пучок, создавая электронный луч. Совокупность нити накала, катода, фокусирующего электрода и анода называется электронной пушкой.

Электронный луч проходит через отверстие в аноде и попадает между пластинами двух взаимно перпендикулярных конденсаторов. При подаче напряжения:

1. Первый конденсатор отклоняет луч в горизонтальном направлении.
2. Вторым конденсатор изменяет траекторию луча в вертикальном направлении.

После прохождения отклоняющих пластин луч попадает в расширенную часть трубки, где ударяет в покрытый люминофором экран. Под воздействием электронов вещество экрана светится, создавая яркое пятно.

Если на пластины конденсатора  $C_1$  и  $C_2$  подать напряжение, то пятно на экране перемещается как в горизонтальном (вдоль оси  $x$ ), так и вертикальном

(вдоль оси  $y$ ) направлениях. При изменении напряжения на обоих конденсаторах пятно перемещается по некоторой траектории в плоскости экрана.

При подаче на конденсатор вертикального отклонения постоянного напряжения пучок электронов, проходя через электрическое поле конденсатора, отклоняется под действием поля в вертикальном направлении. В итоге пятно на экране смещается вверх или вниз от первоначального положения.

Измерив напряжение  $U_{(+ -)}$  и вызванное им смещение  $L_{(+ -)}$ , можно вычислить чувствительность пластин вертикального отклонения по следующей формуле:

$$S_y = \frac{L_{(+ -)}}{U_{(+ -)}} \left( \frac{\text{мм}}{\text{В}} \right) \quad (1)$$

При подаче на конденсатор переменного напряжения (например, синусоидального) пятно будет совершать гармонические колебания. При достаточной большой частоте  $f$  на экране будет наблюдаться светящаяся линия. Её размер  $L_{\sim}$  будет соответствовать двойной амплитуде приложенного напряжения. В этом случае чувствительность пластин осциллографа вычисляется по формуле:

$$S_y = \frac{L_{(+ -)}}{2\sqrt{2}U_{eff}} \left( \frac{\text{мм}}{\text{В}} \right), \quad (2)$$

где  $U_{eff}$  - эффективное значение синусоидального напряжения ( $U_{eff} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$ ).

Если на конденсаторы подать на пластины от различных источников:

1. На пластины горизонтального отклонения  $U_x = (U_0)_x * \cos(2\pi f_x + \phi_x)$
2. На пластины вертикального отклонения  $U_y = (U_0)_y * \cos(2\pi f_y + \phi_y)$ ,

то на экране будет наблюдаться неустойчивое мелькающее изображение. Наблюдать неподвижную картинку можно только при определенном соотношении частот:

$$f_x = n f_y, \quad (3)$$

где  $n=1, 2, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}$  и т.д. При таком соотношении на экране осциллографа можно наблюдать фигуры Лиссажу.

Применение в осциллографе электронно-лучевой трубки дает возможность использовать осциллограф для наблюдения электрических сигналов, переменных во времени. Пусть на пластины вертикального отклонения подается обычное синусоидальное напряжение и одновременно на пластины горизонтального отклонения подается пилообразное напряжение.

При постоянном увеличении напряжения пятно движется по экрану слева направо с некоторой постоянной скоростью, зависящей от частоты развертки. Затем, когда напряжение быстро уменьшается, пятно практически мгновенно возвращается справа налево. Через интервал времени, равный периоду пилообразного напряжения, движение пятна повторяется.

Одновременно с этим пятно перемещается в вертикальном направлении под действием синусоидального напряжения. В случае, когда периоды напряжения удовлетворяют следующему соотношению:

$$T_x = nT_y, \quad (4)$$

где  $n=1,2,3$  и т.д. картинка на экране окажется неподвижной.

### Блок-схема осциллографа

Помимо электронно-лучевой трубки осциллограф состоит из следующих устройств: генератора "Развёртки", усилителей горизонтального и вертикального отклонения и других.

## 2.2 Эксперимент

Упрощённая блок-схема осциллографа представлена на рисунке 1.

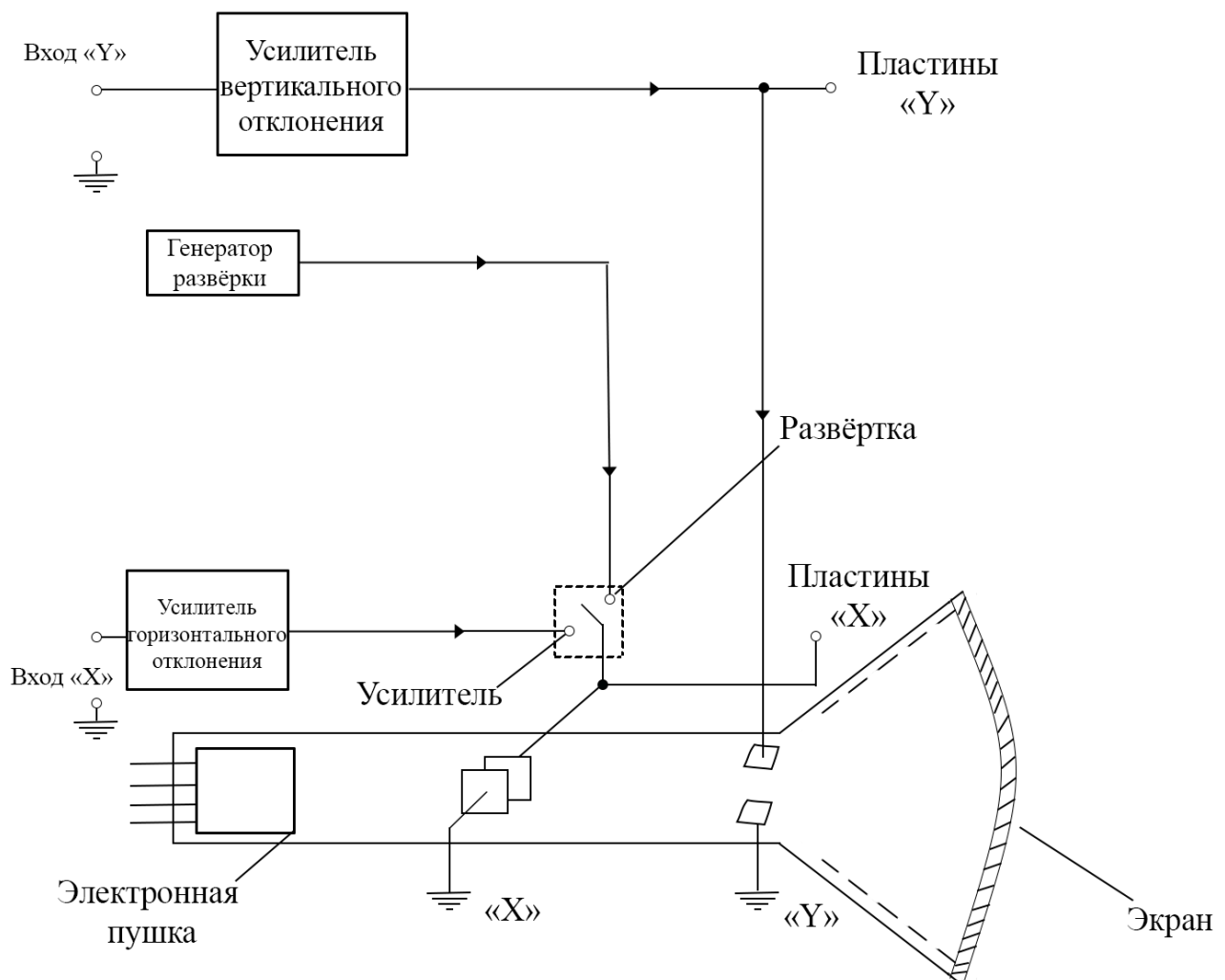


Рис. 1. Схема электронно-лучевой трубки

Фотография установки представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Схема электронно-лучевой трубки

Одна из задач лабораторной работа заключается в исследовании чувствительности пластин вертикального и горизонтального отклонений электронно-лучевой трубки. На рисунке 3 представлена схема для исследования чувствительности пластин.

Другой задачей работы является наблюдение с помощью осциллографа синусоидального напряжения, полученного с выхода генератора. На рисунке 4 представлена схема для наблюдения исследуемого напряжения и определения максимальной чувствительности осциллографа.

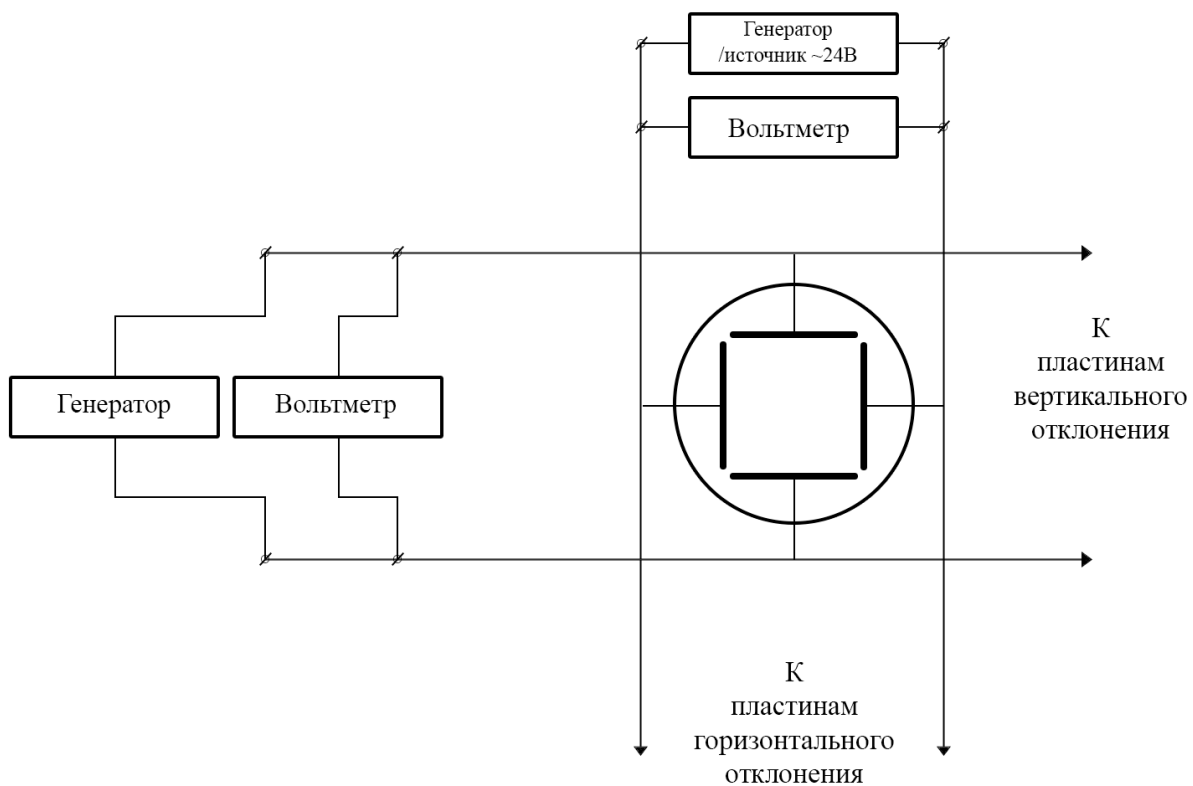


Рис. 3. Схема электрической цепи для исследования чувствительности пластин электронно-лучевой трубки и получения фигур Лиссажу

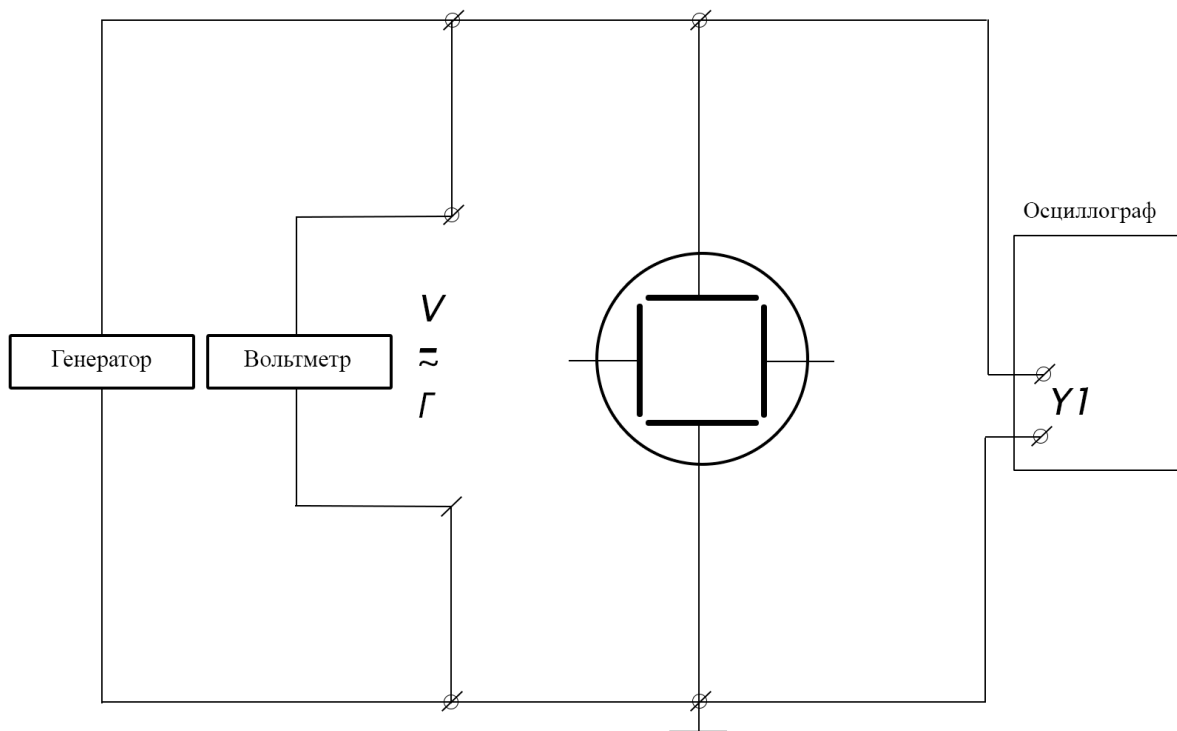


Рис. 4. Схема электрической цепи для наблюдения исследуемого напряжения и определения максимальной чувствительности осциллографа

## 2.3 Обработка данных и обсуждение результатов

Чувствительность вычисляется по формуле ( 2)

Таблица 1. Пластины вертикального отклонения (ПВО)

Длина линии на экране, L	Эффективное напряжение, $U_{eff}$	Чувствительность, S
мм	В	мм/В
10	5.50	0.64
20	11.5	0.62
30	18.1	0.59
40	24.5	0.58
50	31.5	0.56

Было высчитано среднее значение чувствительности пластин вертикального отклонения и погрешность результата прямых измерений по общепринятым правилам по отклонению от среднего:  $\overline{S}_y = 0.60$  мм

Таблица 2. Пластины горизонтального отклонения (ПГО)

Длина линии на экране, L	Эффективное напряжение, $U_{eff}$	Чувствительность, S
мм	В	мм/В
10	4.70	0.75
20	11.1	0.64
30	17.1	0.62
40	24.1	0.59
50	29.3	0.60

Было высчитано среднее значение чувствительности пластин горизонтального отклонения и погрешность результата прямых измерений по общепринятым правилам по отклонению от среднего:  $\overline{S}_x = 0.64$  мм

Графики зависимости  $S_y = f(U_{eff})$  и  $S_x = f(U_{eff})$  представлены на рисунках и соответственно.

Максимальная чувствительность осциллографа вычисляется по формуле:

$$(S'_y)_m = \frac{L'}{2\sqrt{2}U'_{eff}}, \quad (5)$$

где  $L'$  - амплитуда синусоиды на экране осциллографа (двойная), в мм,  $U'_{eff}$  - напряжение, подаваемое на вход осциллографа и измеренное вольтметром, в В.



Таблица 3. Максимальная чувствительность осциллографа

Длина линии на экране, L	Эффективное напряжение, $U_{eff}$	Чувствительность, S
мм	В	мм/В
10	0.010	35*10
20	0.023	31*10
30	0.037	29*10
40	0.052	27*10
50	0.064	28*10

Был высчитан максимальный коэффициент усиления осциллографического усилителя по формуле:

$$K_m = \frac{\overline{(S'_y)_m}}{\overline{S_y}}, \quad (6)$$

где  $\overline{(S'_y)_m}$  и  $\overline{S_y}$  среднее значение максимальной чувствительности осциллографа и среднее значение чувствительности пластин вертикального отклонения соответственно.

Таблица 4. Измерение неизвестной частоты при наблюдении фигур Лиссажу

Вид фигуры Лиссажу				
Отношение частот	1:1	2:1	1:3	1:2
Частота по лимбу генератора, $f_y$ , Гц	$50 \pm 0.5$	$25 \pm 0.5$	$150 \pm 0.5$	$100 \pm 0.5$
Исследуемая частота, $f_x$ , Гц	$50 \pm 0.5$	$50 \pm 0.5$	$50 \pm 0.5$	$50 \pm 0.5$

## Исходный код

## Графики

На рис. 5 приведён график зависимости результатов наблюдений от времени.

Рис. 5. Зависимость результатов наблюдений от времени

## 3 Выводы

## Список литературы

[1] <https://github.com/st117207/Workshop3> (дата обращения: 10.04.2024)