

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

МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Отчёт по лабораторной работе №3

**«Электронный осциллограф»**

Выполнила студентка:

Агеева Екатерина Дмитриевна

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	Решаемые задачи . . . . .	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 . . . . .	5
2.3	Обработка данных и обсуждение результатов . . . . .	8
	Таблицы . . . . .	8
	Описание программ . . . . .	10
	Графики . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Вывод</b>	<b>12</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 Решаемые задачи

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

Электронно-лучевая трубка (рис. 1) — основной элемент осциллографа, состоящий из :

- Электронной пушки (анод, катод, фокусирующий электрод, нагреватель катода);
- Отклоняющих пластин (горизонтальных  $C_1$  и вертикальных  $C_2$ );
- Экрана.

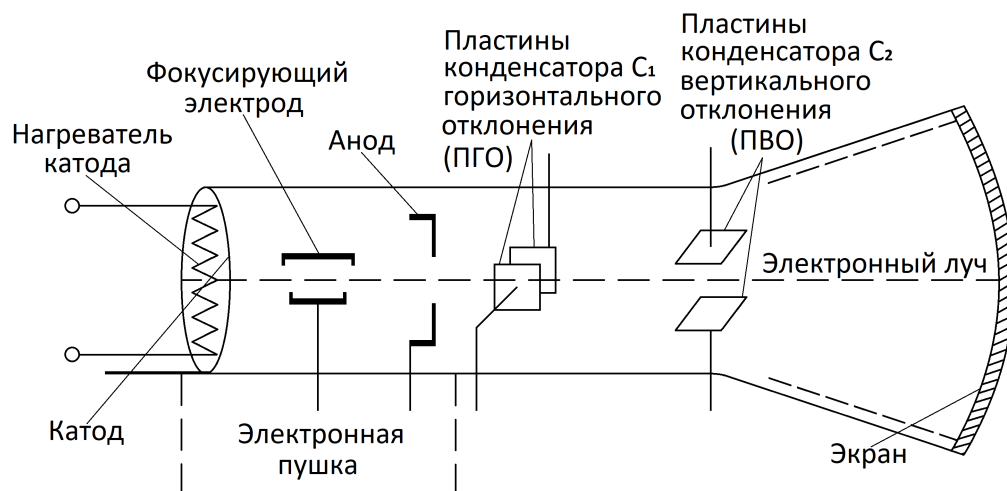


Рис. 1. Схема электронно-лучевой трубки

Электронно-лучевая трубка — это вакуумный прибор, который преобразует электрические сигналы в видимое изображение. Работа трубки происходит следующим образом:

### 1. Формирование электронного луча

- Катод нагревается нитью накала и испускает электроны (термоэлектронная эмиссия);
- Фокусирующий электрод сужает электронный поток в узкий луч;
- Анод ускоряет электроны высоким напряжением.

### 2. Отклонение луча

Луч проходит между двумя парами отклоняющих пластин (Горизонтальные пластины ( $C_1$ ) смещают луч по оси  $X$ , а вертикальные пластины ( $C_2$ ) — по оси  $Y$ ). Напряжение на пластинах создаёт электрическое поле, отклоняющее электроны пропорционально его величине.

### 3. Формирование изображения

Электроны попадают на люминофорное покрытие экрана, вызывая свечение в этой точке. При подаче переменного напряжения луч рисует траекторию. пилообразное напряжение на горизонтальных пластинах создаёт развёртку (луч движется слева направо, затем резко возвращается).

Чувствительность пластин вертикального отклонения определяется по формуле:

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

где  $L_{(+)}$  — смещение пятна,  $U_{(+)}$  — приложенное напряжение. При подаче переменного синусоидального напряжения  $u = U_0 \cos(2\pi ft + \varphi_0)$  чувствительность пластин определяется по формуле:

$$S_y = \frac{L_{\sim}}{2\sqrt{2}U_{\text{eff}}} \simeq 0,354 \frac{L_{\sim}}{U_{\text{eff}}} \quad (2)$$

где  $L_{\sim}$  — длина светящейся линии (двойная амплитуда приложенного напряжения)  $U_{\text{eff}} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$  — эффективное значение синусоидального напряжения.

При подаче разных синусоидальных сигналов на вертикальные и горизонтальные пластины, луч начинает двигаться по сложной траектории, описываемой уравнениями:  $U_x = (U_0)_x \cos(2\pi f_x + \varphi_x)$  и  $U_y = (U_0)_y \cos(2\pi f_y + \varphi_y)$ . В зависимости от соотношения частот  $f_x$  и  $f_y$  и фаз  $\varphi_x$  и  $\varphi_y$  на экране возникают различные изображения. В случае, описываемом условием:

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

где  $n = 1, 2, \frac{1}{2}, \frac{1}{3}$  и т.д., на экране появляются чёткие замкнутые траектории, называемые фигурами Лиссажу.

Если на пластины  $C_1$  подается пилообразное напряжение, которое линейно растёт, а затем резко падает, на  $C_2$  пластины подается синусоидальное напряжение ( $U_y = (U_0)_y \cos(2\pi f_y + \varphi_y)$ ), и если период развертки пилы  $T_x$  и период исследования напряжения  $T_y$  связаны друг с другом соотношением:

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

то на экране возникает неподвижная синусоида.

## Блок-схема осциллографа

Осциллограф состоит из нескольких основных блоков:

- Электронно-лучевой трубки, которая отображает сигнал на экране;
- Генератора развертки, который генерирует пилообразное напряжение для горизонтального отклонения луча;
- Усилителей вертикального и горизонтального отклонений, на которые через входы X и Y осциллографа подается напряжение (исследуемое из них подается на вход Y).

На рис. 2 представлена упрощенная блок-схема осциллографа.

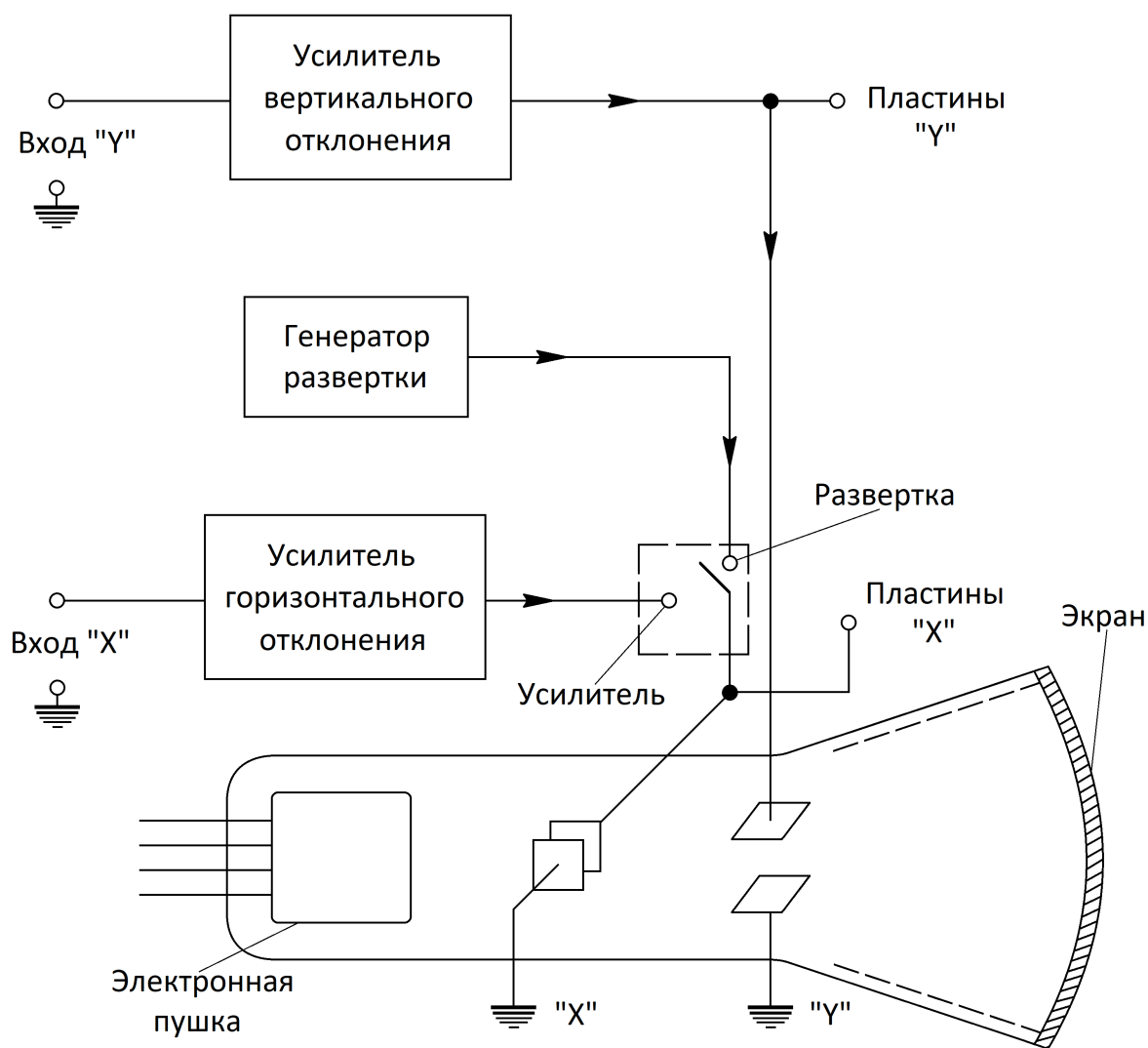


Рис. 2. Упрощенная блок-схема осциллографа

## 2.2 Эксперимент

На рис. 3 представлена фотография электронного осциллографа (С1-19Б), на рис. 4 фотография генератора синусоидального напряжения (ГЗ-109) и испытательного стенда, состоящего из двух плат: для исследования чувствительности пластин и наблюдения фигур Лиссажу и для исследования чувствительности осциллографа. В ходе работы были собраны две цепи с использованием обеих плат поочередно, измерены чувствительности обеих пластин для различных длин отображаемой на экране линии и максимальная чувствительность осциллографа, получены фигуры Лиссажу.



Рис. 3. Фотография электронного осциллографа (С1-19Б)

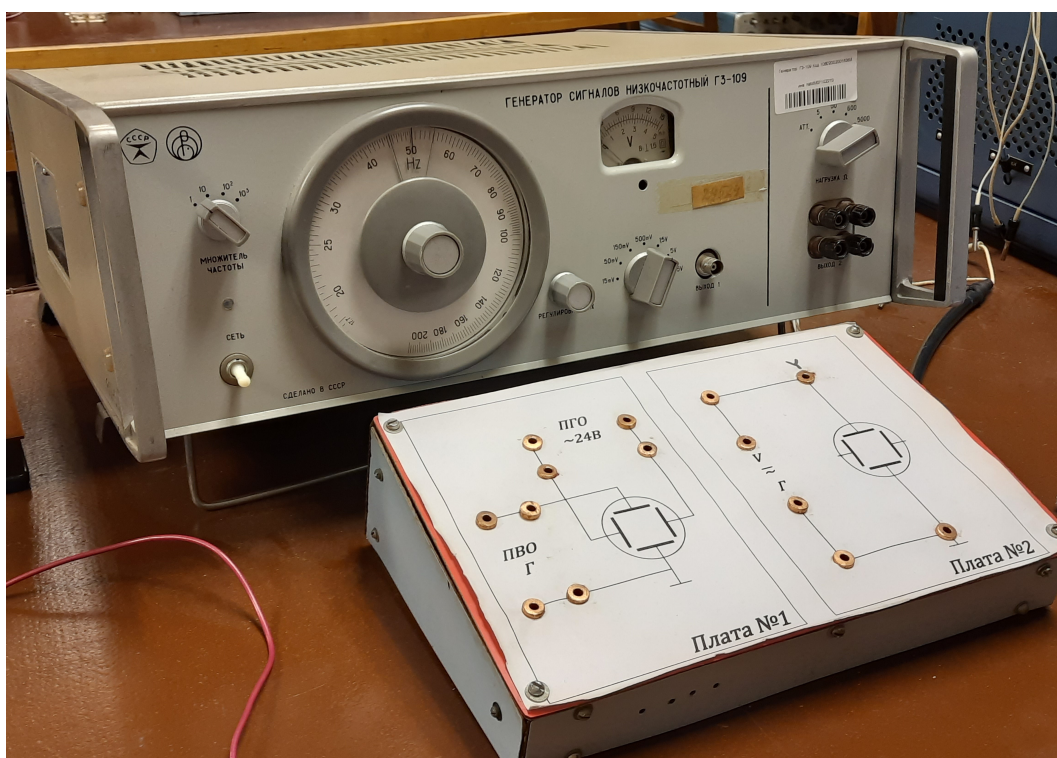


Рис. 4. Фотография генератора синусоидального напряжения (ГЗ-109) и испытательного стенда (плат №1 и №2)



На рис. 5 и рис. 6 представлены схемы электрических цепей для исследования чувствительности пластин испытательного стенда и получения фигур Лиссажу, и для наблюдения исследуемого напряжения и определения максимальной чувствительности осциллографа.

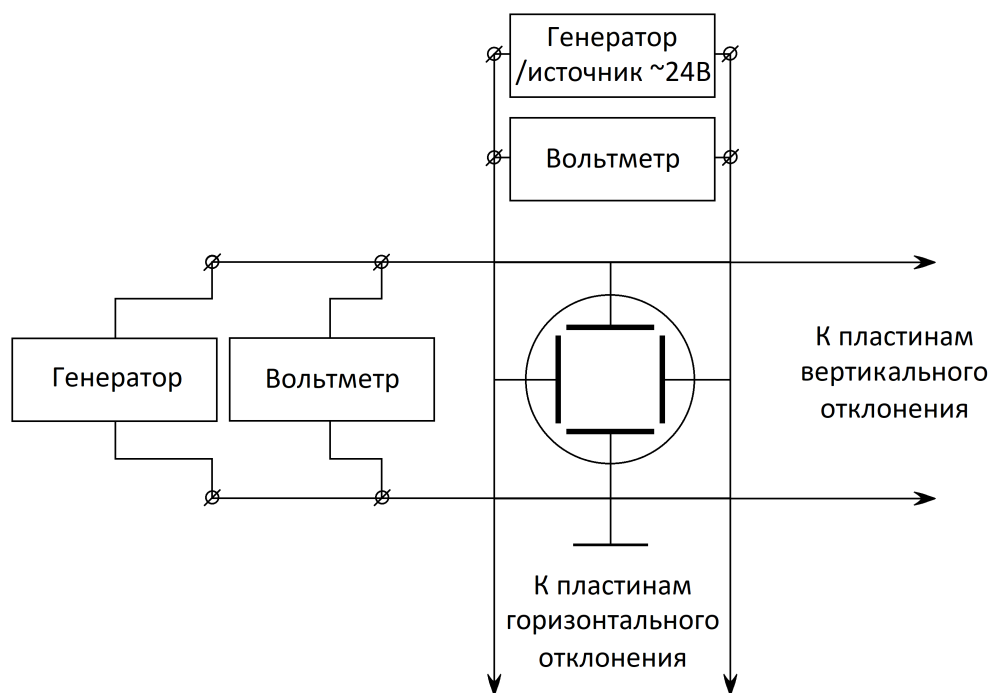


Рис. 5. Схема электрической цепи для исследования чувствительности пластин электронно-лучевой трубки и получения фигур Лиссажу

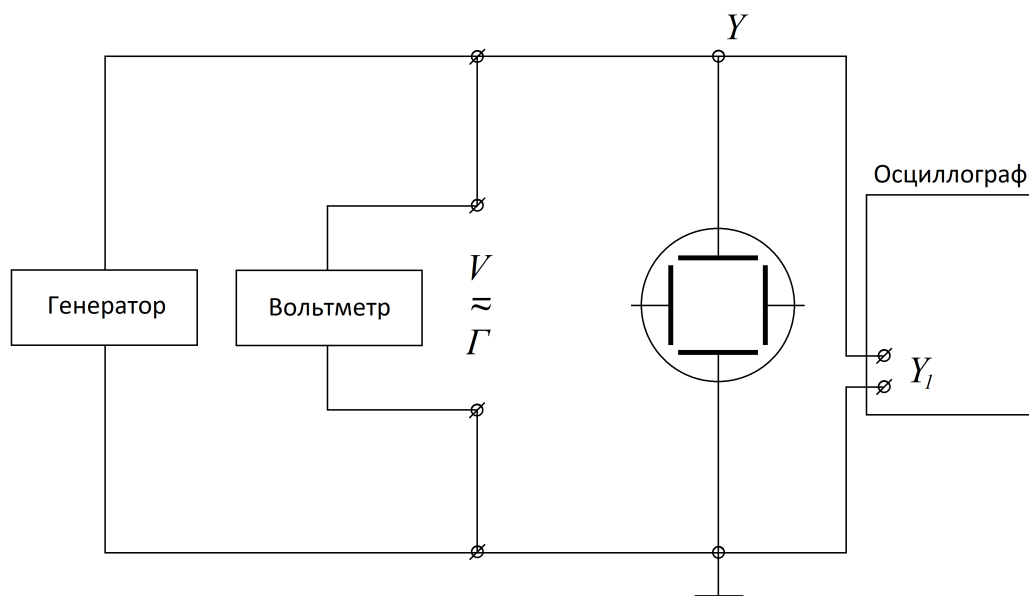


Рис. 6. Схема электрической цепи для наблюдения исследуемого напряжения и определения максимальной чувствительности осциллографа



## 2.3 Обработка данных и обсуждение результатов

### Таблицы

Таблица 1. Пластины вертикального отклонения (ПВО)

Длина линии на экране, L	Эффективное напряжение, $U_{\text{eff}}$	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

Для чувствительности пластин вертикального отклонения на основе полученных в ходе эксперимента данных, приведенных в таблице 1, при которых  $S_y$  слабо зависит от  $U_{\text{eff}}$  (при длине L равной 20, 30 и 40 мм), было высчитано среднее значение  $\overline{S_y} = 0.60$  мм/В и вычислена погрешность результата прямых измерений по общепринятым правилам по отклонению от среднего по формуле:

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum (S_i - \overline{S})^2}{n(n-1)}} \quad (5)$$

Из этого находим  $\Delta S_y = 0.12$  мм/В. Таким образом,  $S_y = 0.60 \pm 0.12$  мм/В.

Таблица 2. Пластины горизонтального отклонения (ПГО)

Длина линии на экране, L	Эффективное напряжение, $U_{\text{eff}}$	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

Для чувствительности пластин горизонтального отклонения на основе полученных в ходе эксперимента данных, приведенных в таблице 2, при которых  $S_x$  слабо зависит от  $U_{\text{eff}}$  (при длине L равной 20, 30 и 40 мм), были вычислены среднее значение  $\overline{S_x} = 0.62$  мм/В и погрешность результата прямых измерений по формуле (5),  $\Delta S_x = 0.015$  мм/В. Таким образом,  $S_x = 0.62 \pm 0.015$  мм/В.

Таблица 3. Максимальная чувствительность осциллографа

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

Максимальная чувствительность осциллографа вычисляется по следующей формуле:

$$(S'_y)_m = \frac{L'}{2\sqrt{2}U'_{\text{eff}}} \quad (6)$$

где  $L'$  — двойная амплитуда синусоиды, проявляющейся на экране осциллографа в мм, а  $U'_{\text{eff}}$  — напряжение, подаваемое на вход осциллографа в В.

Было вычислено среднее значение максимальной чувствительности осциллографа:  $(S'_y)_m = 30 \cdot 10$  мм/В; а также погрешность результата прямых измерений,  $\Delta(S'_y)_m = 1.4 \cdot 10$  мм/В. Таким образом,  $(S'_y)_m = (30 \pm 1.4) \cdot 10$  мм/В.

Максимальный коэффициент усиления осциллографического усилителя вычисляется по формуле:

$$K_m = \frac{\overline{(S'_y)_m}}{S_y} \quad (7)$$

Отсюда  $K_m = 50 \cdot 10$ .

Погрешность  $K_m$ , как погрешность косвенных измерений, вычисляется по формуле:





$$\Delta K_m = \sqrt{\left(\frac{\partial K_m}{\partial (S'_y)_m}\right)^2 \cdot (\Delta(S'_y)_m)^2 + \left(\frac{\partial K_m}{\partial S_y}\right)^2 \cdot (\Delta S_y)^2} \quad (8)$$

Которая преобразуется до вида:

$$\Delta K_m = \sqrt{\left(\frac{1}{S_y}\right)^2 \cdot (\Delta(S'_y)_m)^2 + \left(\frac{(S'_y)_m}{S_y^2}\right)^2 \cdot (\Delta S_y)^2} \quad (9)$$

$\Delta K_m = 2.5 \cdot 10$ . Таким образом,  $K_m = (50 \pm 2.5) \cdot 10$ .

Таблица 4. Измерение неизвестной частоты при наблюдении фигур Лиссажу

Вид фигуры Лиссажу				
Отношение частот $f_x : f_y$	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	$50 \pm 0.5$	$50 \pm 0.5$	$50 \pm 0.5$	$50 \pm 0.5$

## Описание программ

Для проведения расчётов на языке C++ были написаны программы “Sx”, “Sy” и “max S”, предназначенные для обработки данных, связанных с чувствительностью пластин горизонтального и вертикального отклонений электронно-лучевой трубки осциллографа, а также для вычисления максимальной чувствительности осциллографа и коэффициента усиления.

Программа “Sx” состоит из следующих функций:

- `in()`: отвечает за ввод данных из файла “Input.csv” в двумерный массив `a`, где каждая строка содержит длину линии на экране (в мм) и эффективное напряжение (в В).
- `roundx()`: округляет число до указанного количества значащих цифр.
- `colSi()`: вычисляет значения чувствительности пластин горизонтального отклонения  $S_x$  для каждой строки данных по формуле (2).
- `Sx()`: вычисляет среднее значение чувствительности  $S_x$  для данных строк (исключая первую и последнюю строки).
- `dSx()`: вычисляет погрешность среднего значения  $S_x$  по формуле стандартного отклонения от среднего (5).
- `out()`: записывает в файл “Output.csv” значения  $S_x$  для каждой строки, среднее значение  $S_x$  и его погрешность.

Программа “Sy” имеет аналогичную структуру и в точности совпадающие функции, но предназначена для расчёта чувствительности пластин вертикального отклонения  $S_y$ .

Программа “max S” предназначена для вычисления максимальной чувствительности осциллографа и коэффициента усиления усилителя. Она включает следующие функции:

- `in()`: отвечает за ввод данных из файла “Input.csv”.
- `roundx()`: округляет число до указанного количества значащих цифр.

- `colSi()`: вычисляет значения максимальной чувствительности  $S_{max}$  для каждой строки данных по формуле (2).
- `avrgS()`: вычисляет среднее значение  $S_{max}$ .
- `daS()`: вычисляет погрешность среднего значения  $S_{max}$ .
- `Km()`: вычисляет коэффициент усиления усилителя по формуле (7).
- `dKm`: вычисляет погрешность коэффициент усиления усилителя, как погрешность косвенных измерений, по формуле (9)
- `out()`: записывает в файл “Output.csv” значения  $S_{max}$  для каждой строки, среднее значение  $S_{max}$  и коэффициент усиления  $K_m$ .

## Графики

На рис. 7, рис. 8 приведены результаты работы программы gnuplot для графиков зависимости  $S_y = f(U_{eff})$  и  $S_x = f(U_{eff})$  соответственно.

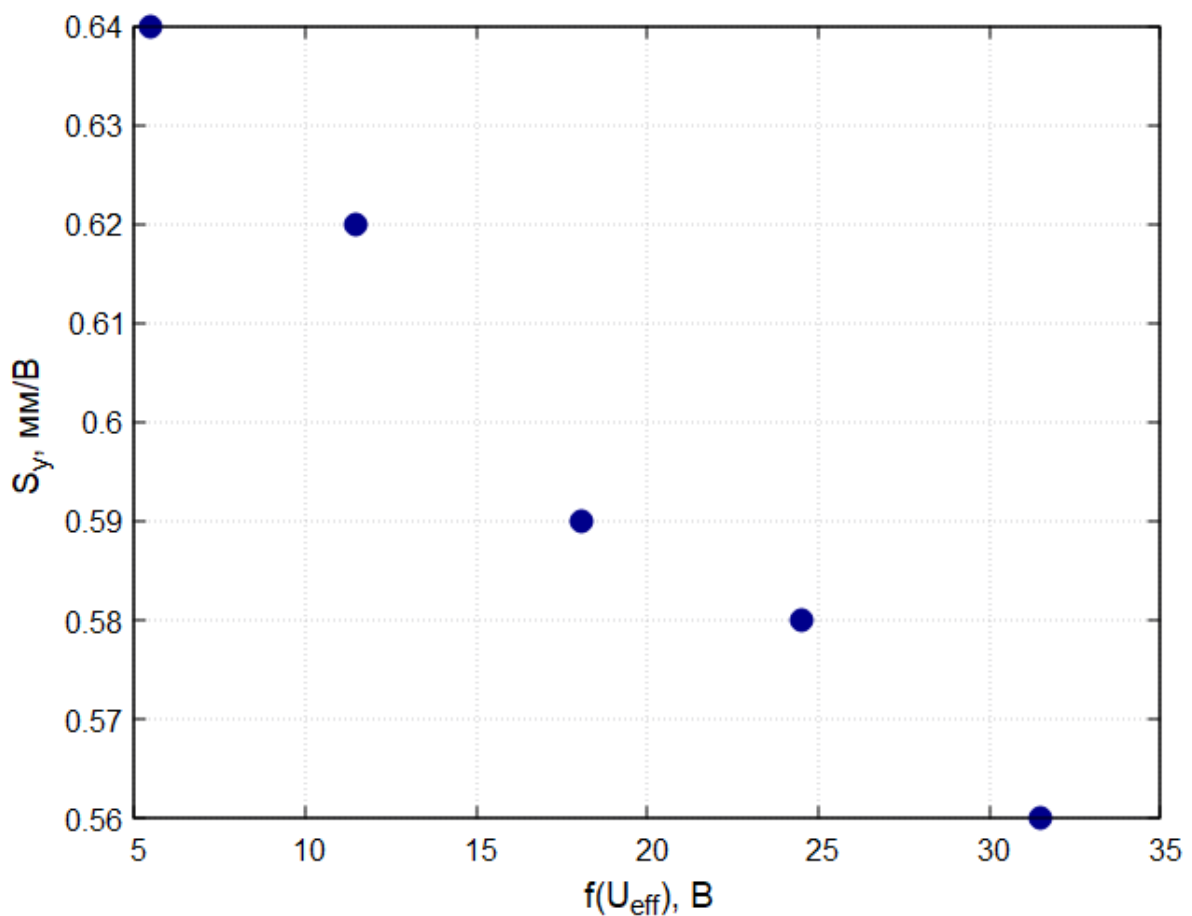


Рис. 7. График зависимости  $S_y = f(U_{eff})$

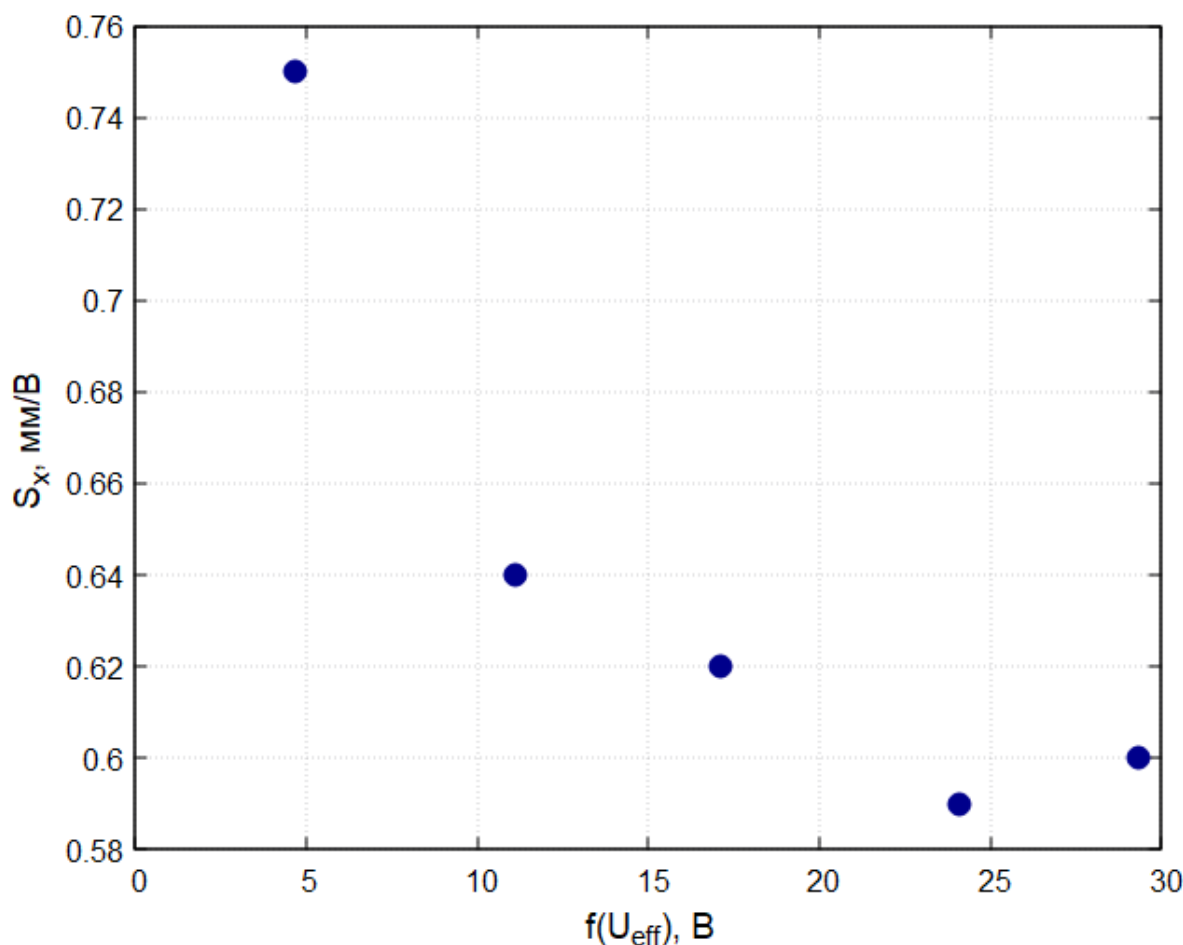


Рис. 8. График зависимости  $S_x = f(U_{\text{eff}})$

### 3 Вывод

В ходе лабораторной работы было проведено исследование характеристик электронного осциллографа, включая определение чувствительности пластин вертикального и горизонтального отклонения, а также изучение фигур Лиссажу. Определены средние значения чувствительности вертикальных и горизонтальных пластин, установлены максимальная чувствительность прибора и коэффициент усиления. Исследование фигур Лиссажу продемонстрировало возможности осциллографа в анализе и визуализации сложных сигналов. Результаты работы показали, что осциллограф является эффективным инструментом для визуализации и анализа электрических сигналов, а также определения их параметров с высокой точностью.

### Список литературы

- [1] <https://github.com/st117208/Workshop3> (дата обращения: 11.04.2025)