

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

1	Введение	2
1.1	Решаемые задачи	2
2	Основная часть	2
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	9
	Графики	10
3	Вывод	12

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.

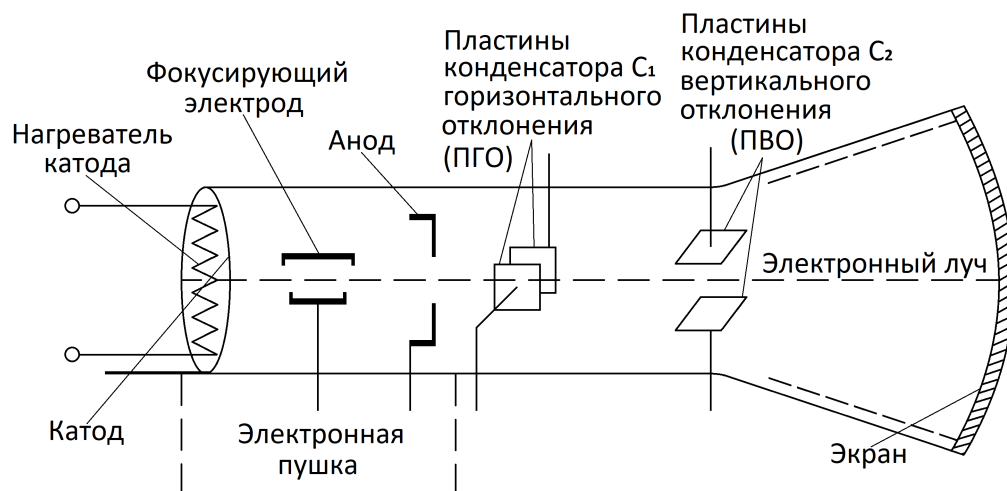


Рис. 1. Схема электронно-лучевой трубки

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 высчитывается 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 φ_x и φ_y на экране возникают различные изображения. В случае, описываемом уравнением:

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

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

Если на пластины C_1 подается пилообразное напряжение, которое линейно растет, 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.

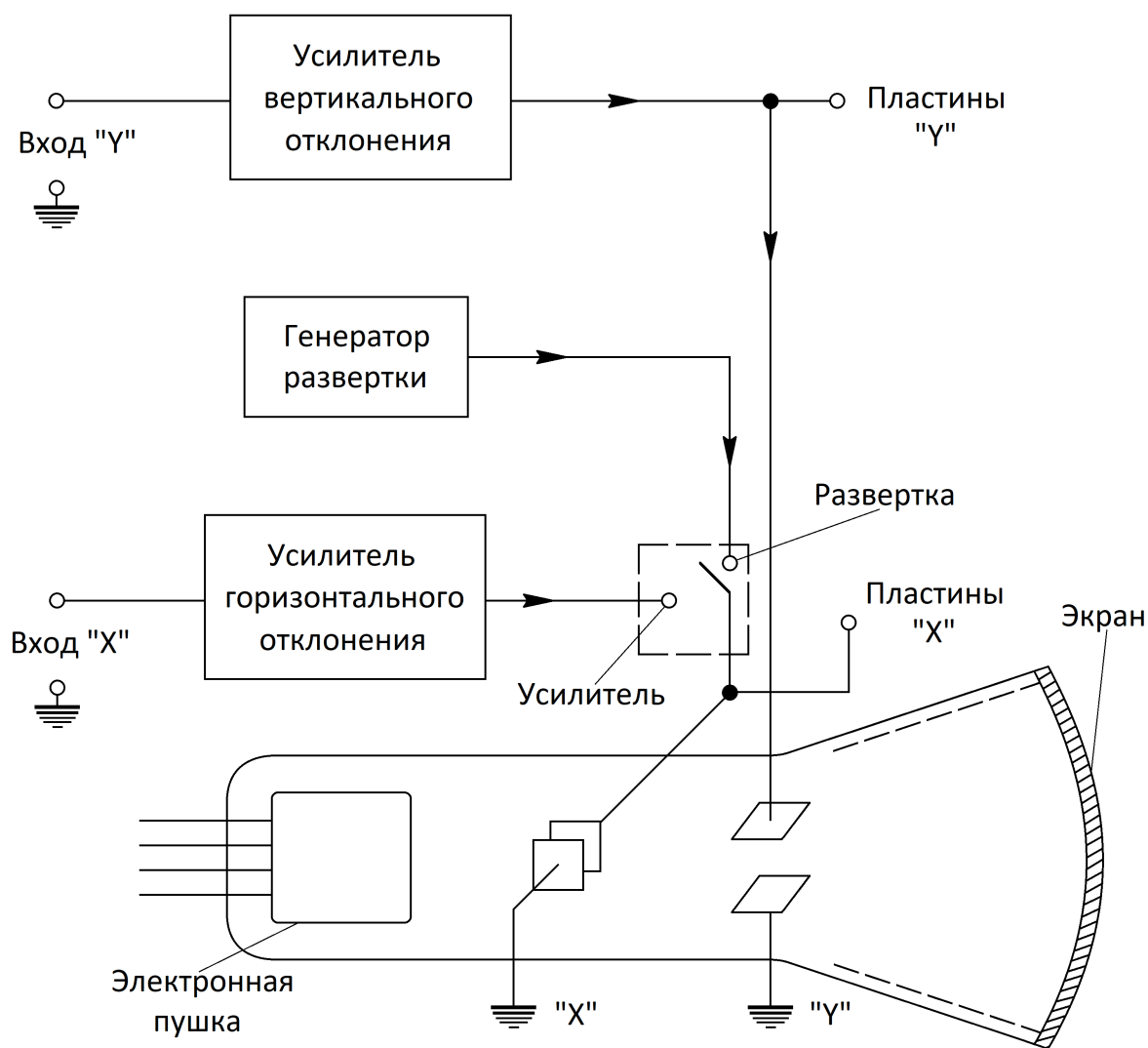


Рис. 2. Упрощенная блок-схема осциллографа

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)

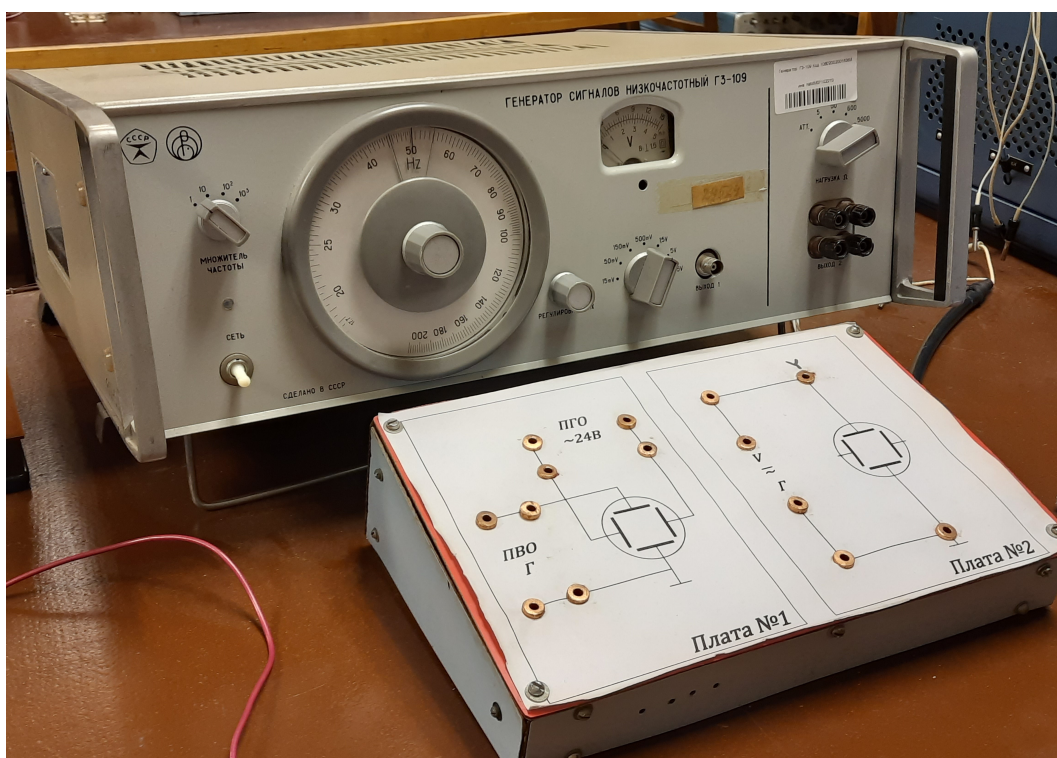


Рис. 4. Фотография генератора синусоидального напряжения (ГЗ-109) и испытательного стенда (плат №1 и №2)

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.

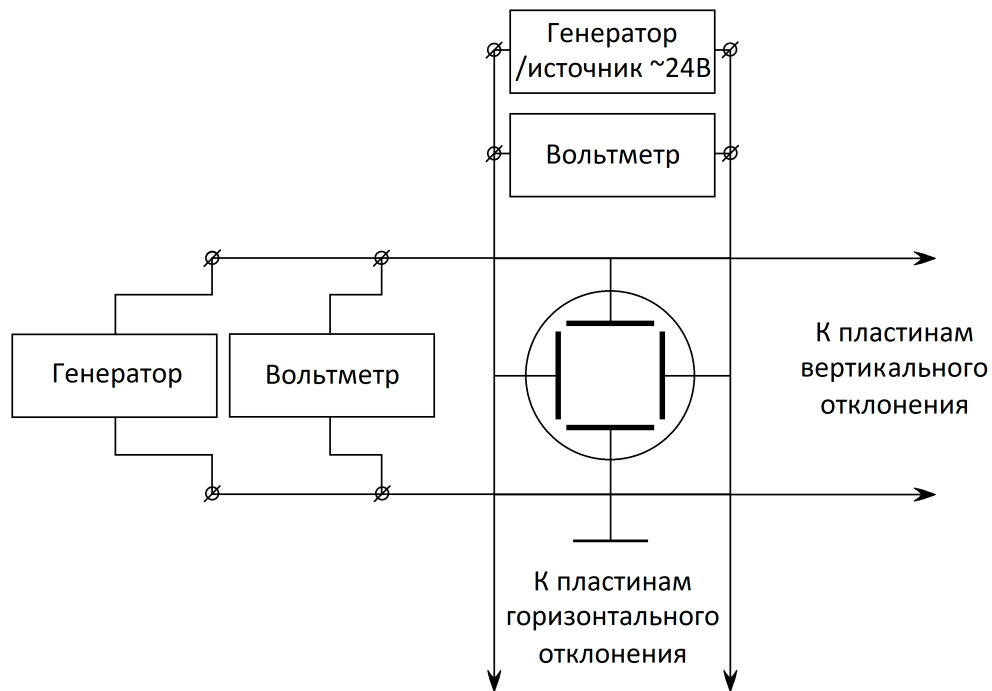


Рис. 5. Схема электрической цепи для исследования чувствительности пластин электронно-лучевой трубки и получения фигур Лиссажу

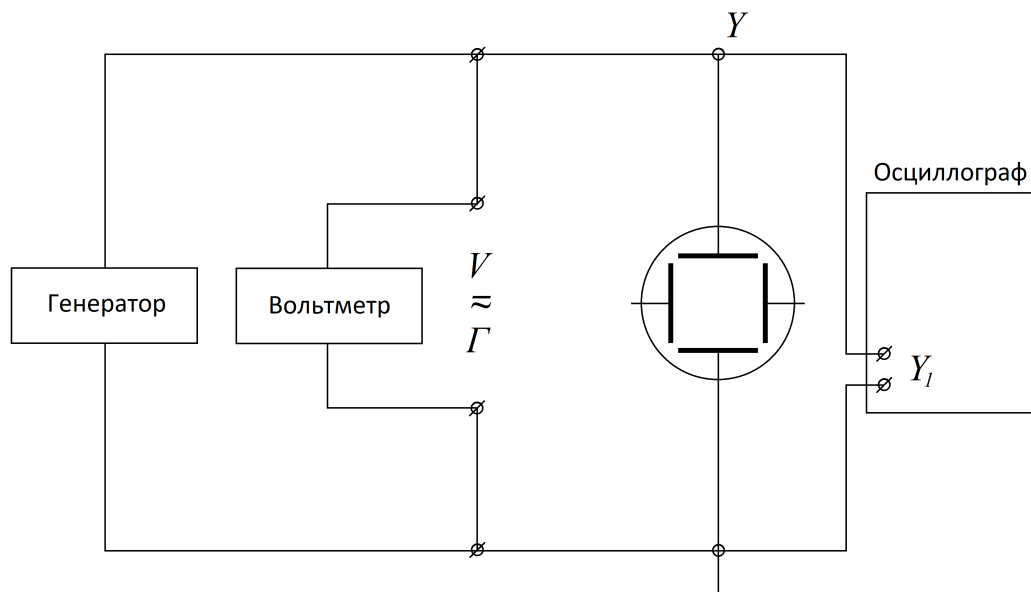


Рис. 6. Схема электрической цепи для наблюдения исследуемого напряжения и определения максимальной чувствительности осциллографа

2.3 Обработка данных и обсуждение результатов

Таблицы

Таблица 1. Пластины вертикального отклонения (ПВО)

Длина линии на экране, L	Эффективное напряжение, U_{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_{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:

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

Таким образом, $\Delta S_y = 0.12$ мм/В.

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

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

Таблица 3. Максимальная чувствительность осциллографа

Длина линии на экране, L	Эффективное напряжение, U_{eff}	Чувствительность, S
мм	В	мм/В
10	0.010	$35 \cdot 10$
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'_{eff} — напряжение, подаваемое на вход осциллографа в В.





Было высчитано среднее значение максимальной чувствительности осциллографа: $\overline{(S'_y)_m} = 30 \cdot 10$ мм/В.

Максимальный коэффициент усиления осциллографического усилителя вычисляется по формуле:

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

Таким образом, $K_m = 50 \cdot 10$.

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 ± 0.5	25 ± 0.5	150 ± 0.5	100 ± 0.5
Исследуемая частота, f_x , Гц	50 ± 0.5	50 ± 0.5	50 ± 0.5	50 ± 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).
- `avgS()`: вычисляет среднее значение S_{max} .
- `Km()`: вычисляет коэффициент усиления усилителя по формуле (7).
- `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 $S_y = f(U_{\text{eff}})$ и $S_x = f(U_{\text{eff}})$ соответственно.

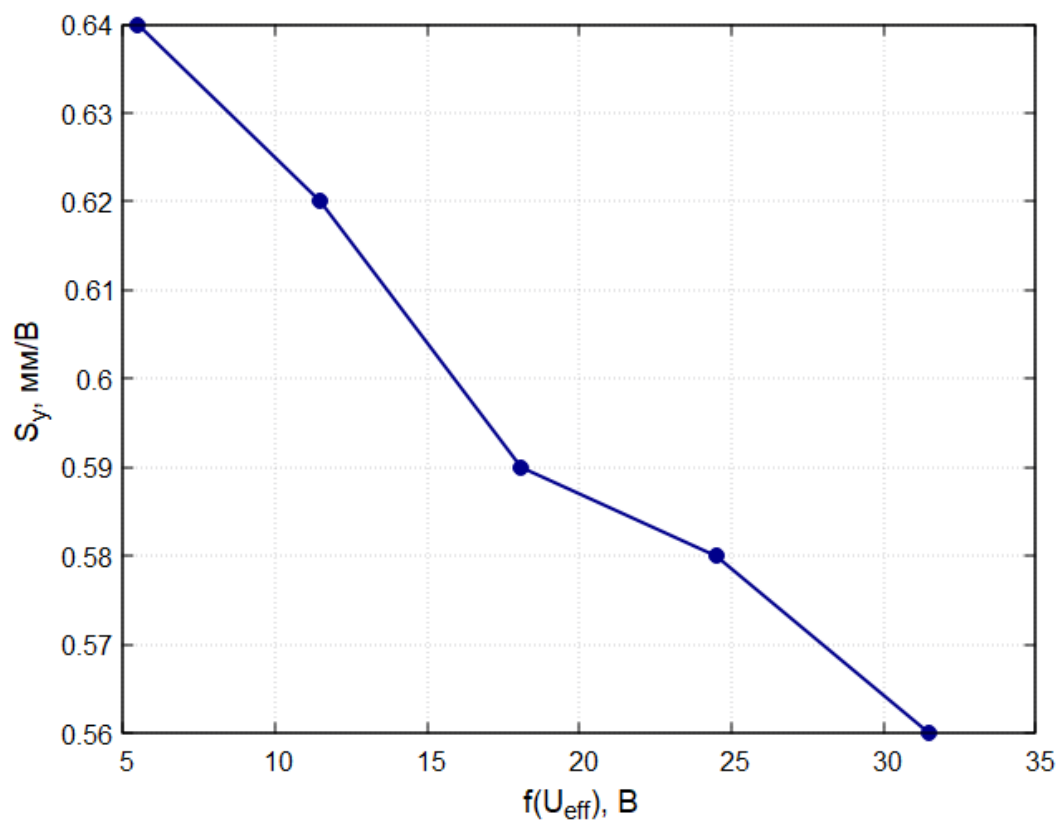


Рис. 7. График зависимости $S_y = f(U_{\text{eff}})$

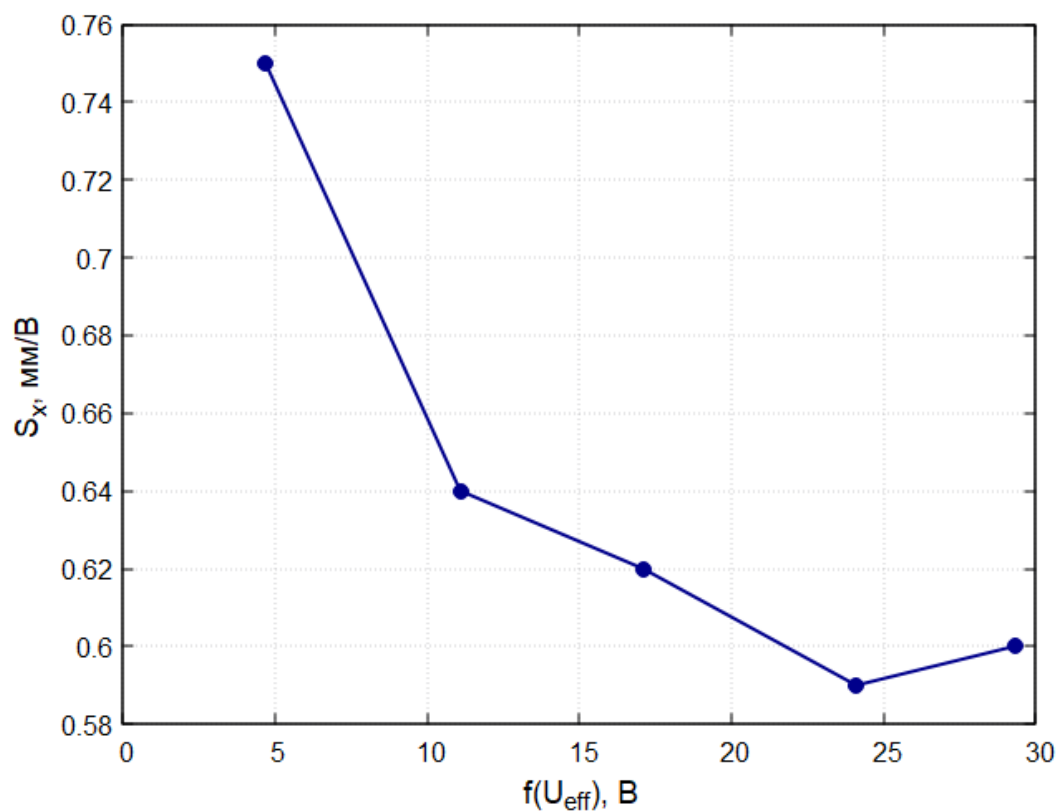


Рис. 8. График зависимости $S_x = f(U_{\text{eff}})$

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)