

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

1	Введение	2
1.1	Задачи работы	2
2	Основная часть	2
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
	Таблицы	7
	Исходный код	9
	Графики	10
3	Выводы	11

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:

$$S_y = \frac{L_{(+-)}}{2\sqrt{2}U_{eff}} \simeq 0,354 \frac{L_{(+-)}}{U_{eff}} \left(\frac{\text{мм}}{\text{В}} \right), \quad (2)$$

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

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.

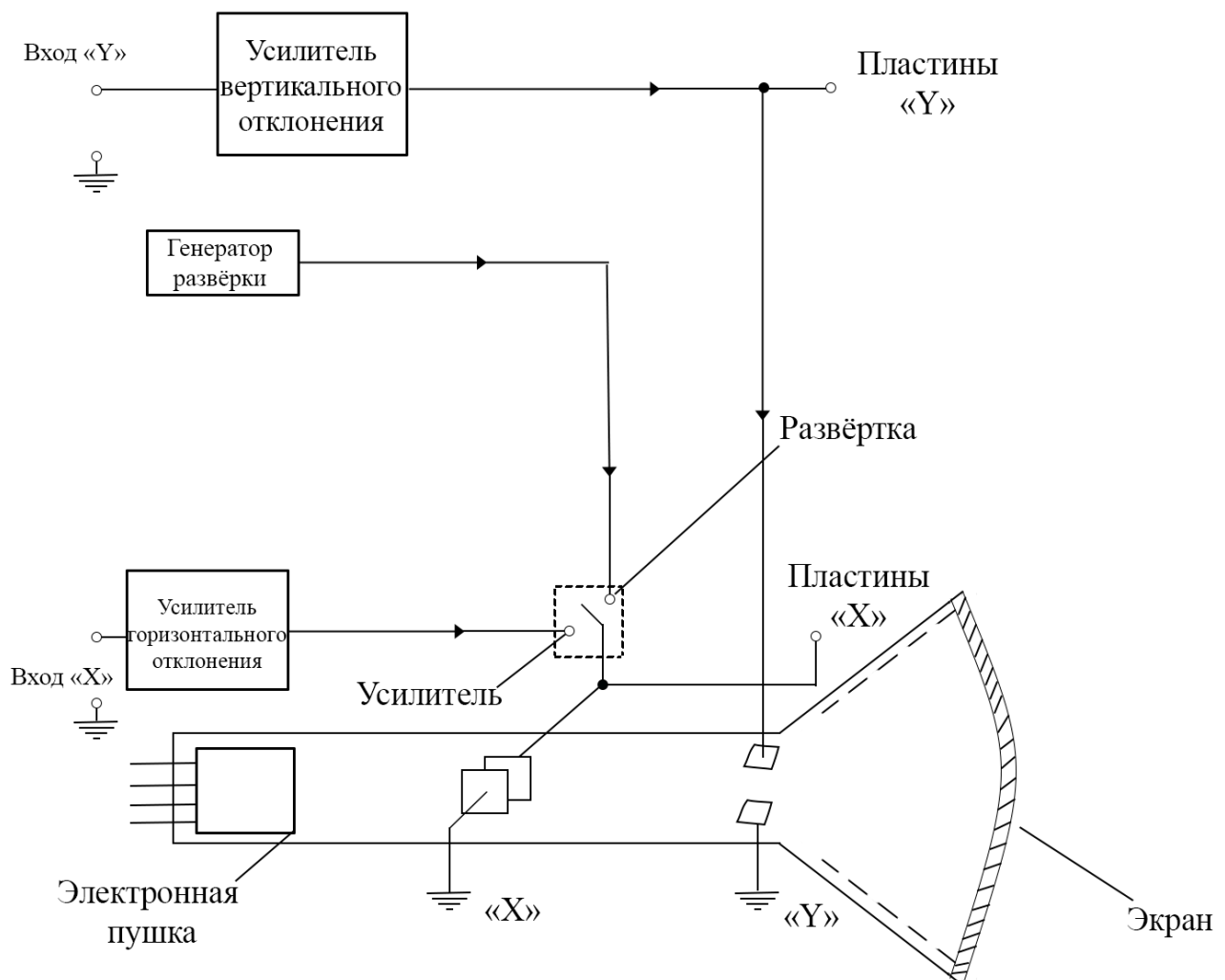


Рис. 1. Схема осциллографа

Фотография установки представлена на рисунке 2.



Рис. 2. Фотография установки

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.

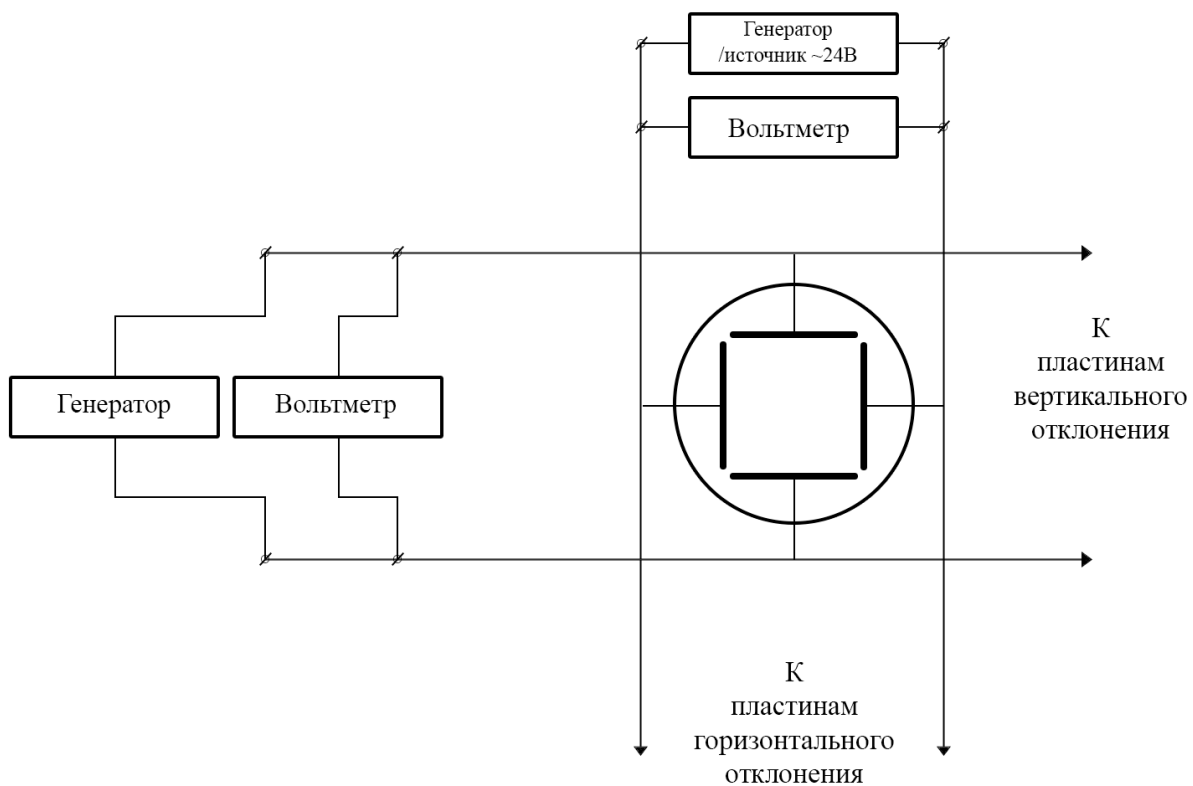


Рис. 3. Схема электрической цепи для исследования чувствительности пластин электронно-лучевой трубки и получения фигур Лиссажу

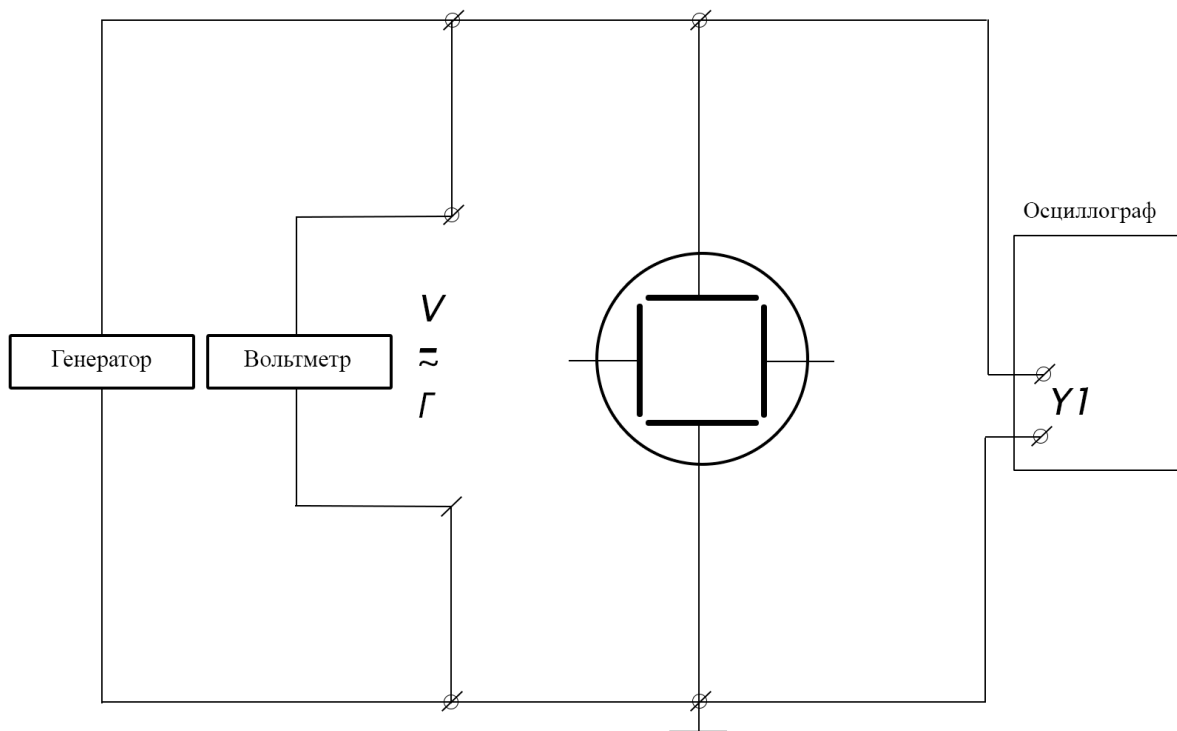


Рис. 4. Схема электрической цепи для наблюдения исследуемого напряжения и определения максимальной чувствительности осциллографа

2.3 Обработка данных и обсуждение результатов

Чувствительность вычисляется по формуле (2).

Графики зависимости $S_y = f(U_{eff})$ и $S_x = f(U_{eff})$ представлены на рисунках 5 и 6 соответственно.

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

Исходя из анализа графика 5, можно заключить, что на диапазоне 11.5-24.5 В S_y слабо зависит от U_{eff} (наблюдается область постоянной чувствительности). Было высчитано среднее значение чувствительности пластин вертикального отклонения в данном диапазоне. Кроме того была высчитана погрешность результата прямых измерений по общепринятым правилам по отклонению от среднего ($\Delta S = \sqrt{\frac{\Sigma(S_i - \bar{S})^2}{n(n-1)}}$): $\bar{S}_y = 0.60$ мм/В, $\Delta S_y = 0.012$ мм/В.

Таким образом, итоговый результат:

$$S_y = 0.60 \pm 0.12 \text{ мм/В.}$$

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

Исходя из анализа графика 6, можно заключить, что на диапазоне 11.1-24.1 В S_x слабо зависит от U_{eff} (наблюдается область постоянной чувствительности). Было высчитано среднее значение чувствительности пластин вертикального отклонения в данном диапазоне. Кроме того была высчитана погрешность

результата прямых измерений по общепринятым правилам по отклонению от среднего ($\Delta S = \sqrt{\frac{\Sigma(S_i - \bar{S})^2}{n(n-1)}}$): $\bar{S}_x = 0.62$ мм/В, $\Delta S_x = 0.015$ мм/В.

Таким образом, итоговый результат:

$$S_x = 0.62 \pm 0.015 \text{ мм/В.}$$

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	$35 \cdot 10$
20	0.023	$31 \cdot 10$
30	0.037	$29 \cdot 10$
40	0.052	$27 \cdot 10$
50	0.064	$28 \cdot 10$

Был высчитан максимальный коэффициент усиления осциллографического усилителя по формуле:

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

где $\overline{(S'_y)_m}$ и \bar{S}_y среднее значение максимальной чувствительности осциллографа и среднее значение чувствительности пластин вертикального отклонения соответственно: $\overline{(S'_y)_m} = 30 \cdot 10$ В, $K_m = 50 \cdot 10$. Была высчитана погрешность K_m , как погрешность косвенных измерений по формуле:

$$\Delta K_m = \sqrt{\frac{(\Delta(S'_y)_m)^2}{S_y^2} + \frac{(S'_y)_m^2 \cdot (\Delta S_y)^2}{S_y^4}} \quad (7)$$

Таким образом, итоговый результат:

$$K_m = 50 \cdot 10 \pm 25.$$

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 ± 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

Исходный код

Исходный код состоит из трёх программ: "Sensitivity_x" "Sensitivity_y" "Sensitivity_{max}".

Первые две аналогичны и вычисляют чувствительность для таблиц 1 и 2, среднее значение $\overline{S_x}$ и $\overline{S_y}$ на области постоянной чувствительности и погрешность ΔS_x и ΔS_y по общепринятым правилам по отклонению от среднего соответственно.

Ниже представлено описание кода программ "Sensitivity_x" и "Sensitivity_y":

Функция inputdata() осуществляет ввод исходных данных из файла "InputData.csv" и сохранения их в массив arr.

Функция sensitivitycalculation() вычисляет массив значений чувствительности для 5 измерений.

Функция averagevalue() возвращает среднее арифметическое значение чувствительности на области постоянной чувствительности.

Функция deviation() вычисляет погрешность по общепринятым правилам по отклонению от среднего.

Функция outputdata() записывает результаты вычислений в файл "OutputData.csv".

Программа "Sensitivity_{max}" высчитывает среднее арифметическое значение максимальной чувствительности и максимальный коэффициент усиления осциллографического усилителя.

Описание кода программы "Sensitivity_{max}":

Функция inputdata() осуществляет ввод исходных данных из файла "InputData.csv" и сохранения их в массив arr.

Функция averagevalue() возвращает среднее арифметическое значение максимальной чувствительности.

Функция deviation() вычисляет погрешность по общепринятым правилам по отклонению от среднего.

Функция errorK() вычисляет погрешность максимального коэффициента усиления, как погрешность косвенных измерений.

Функция coefficient() максимальный коэффициент усиления осциллографического усилителя по формуле по формулу (6).

Функция outputdata() записывает результаты вычислений в файл "OutputData.csv".

Графики

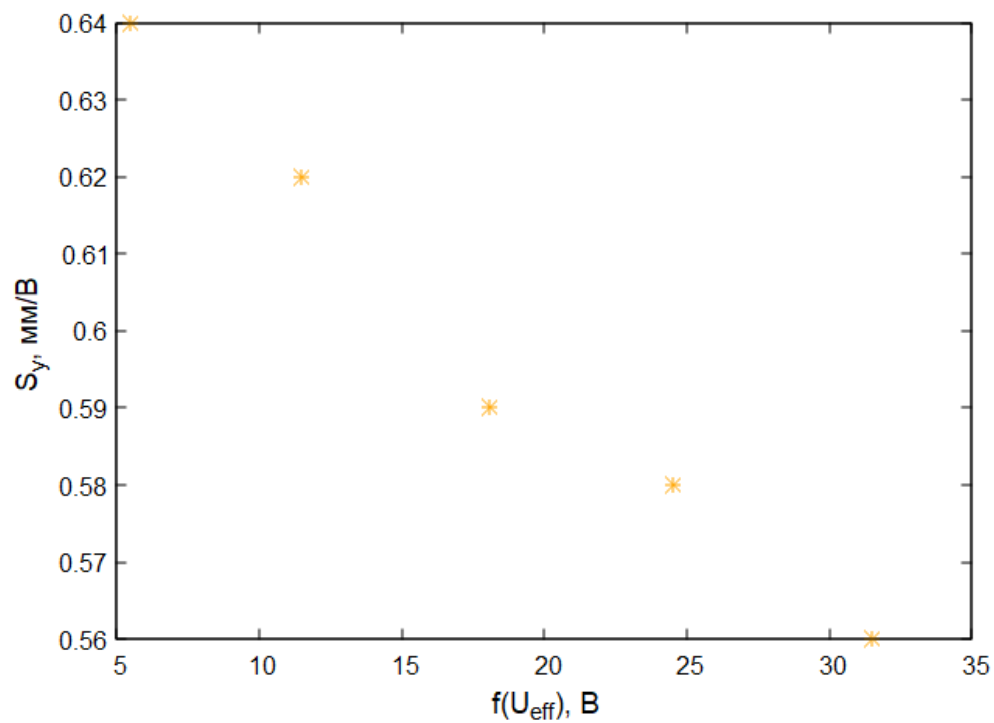


Рис. 5. График зависимости $S_y = f(U_{eff})$ чувствительности пластин вертикального отклонения от напряжения

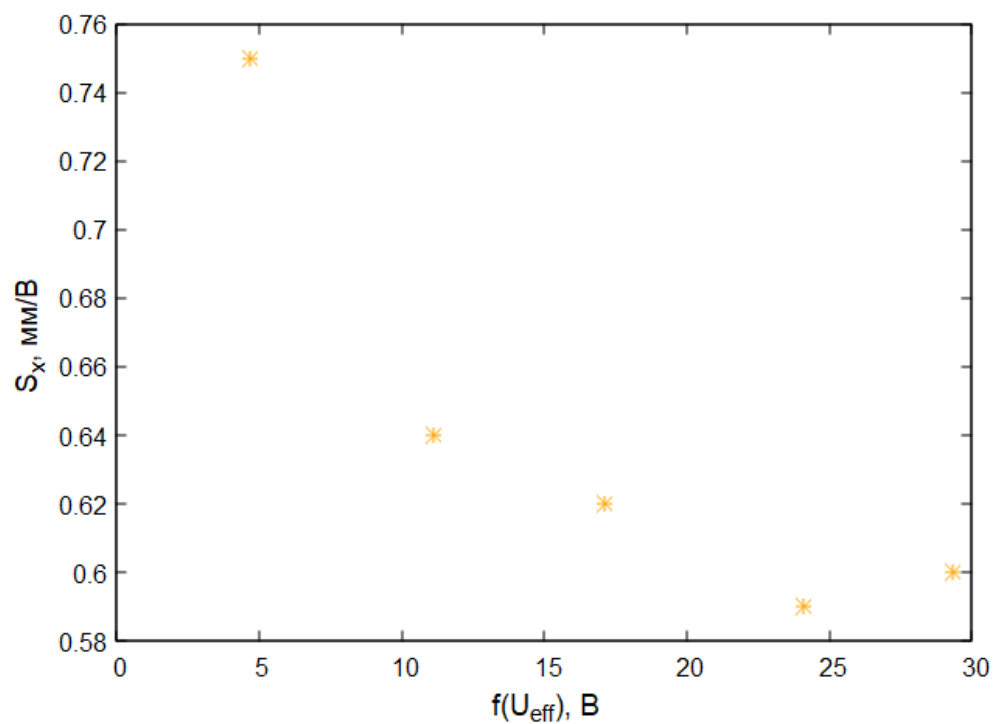


Рис. 6. График зависимости $S_x = f(U_{eff})$ чувствительности пластин горизонтального отклонения от напряжения

3 Выводы

В ходе выполнения данной лабораторной работы была исследована чувствительность ПГО и ВГО осциллографической трубки. Кроме этого была высчитана максимальная чувствительность осциллографа, были получены фигуры Лиссажу. При обработке данных были построены графики зависимости чувствительности пластин от напряжения, был высчитан максимальный коэффициент усиления осциллографического усилителя.

Список литературы

[1] <https://github.com/st117207/Workshop3> (дата обращения: 10.04.2025)