

Лабораторная работа 1.1.6

Талашкевич Даниил Александрович

February 14, 2021

1. Аннотация

Ознакомиться с устройством и работой осциллографа, изучить его основные характеристики. Измерить амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) усилителей каналов "X" и "Y", а также измерить их фазово-частотную разность.

2. Теоретические сведения

1. Устройство ЭЛТ осциллографа:

Рис. 1: Где 1-подогреватель катода, 2- катод, 3-модулятор, 4- первый (фокусирующий) анод, 5- второй (ускоряющий) анод, 6 и 7- горизонтально и вертикально отклоняющие пластины, 8- третий (ускоряющий) анод, 9- экран.

2.1. Теория

1. Смещение h электронного пятна на экране осциллографа: $h = \frac{l_1 L}{2dU_\alpha} \cdot U_y$.

Чувствительность трубки к напряжению: $k = \frac{l_1 L}{2dU_\alpha}$, где l_1 – длина пластин, L – расстояние от середины пластин до экрана, d – расстояние между пластинами, U_α – ускоряющее напряжение на втором аноде.

2. Подаваемое на вертикально отклоняющие пластины напряжение должно быть пропорционально самому сигналу: $U_y(t) = U_{0y} + K_{uy} U_c(t)$.

U_{0y} – постоянное напряжение, определяющее расположение графика сигнала по оси Y ; K_{uy} – коэффициент входного сигнала каналом вертикального отклонения.

Подаваемое на горизонтально отклоняющие пластины напряжение должно линейно зависеть от времени: $U_x = U_{0x} + K_{xu} t$, где U_{0x} – постоянное напряжение, определяющее расположение графика сигнала по оси X ; K_{xu} – коэффициент пропорциональности, зависящий от рабочих характеристик генератора развертки и усилителя.

Отношение максимальной и минимальной амплитуд генератора: $\beta[\text{дБ}] = 20 \lg\left(\frac{A}{A_0}\right)$.

Коэффициент ослабления сигнала K : $K(f_{gr}) = \frac{2A(f_{gr})}{2A_0}$.

3. Фигуры Лиссажу Напряжение на горизонтально отклоняющие пластины:

$$U_x = U_\alpha \cos(2\pi f t + \varphi_1).$$

Напряжение на вертикально отклоняющие пластины: $U_y = U_\beta \cos(2\pi f t + \varphi_2)$.

Тогда уравнение траектории движения луча: $\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} + 2 \frac{xy}{AB} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1)$.

3. Используемое оборудование:

- 1) Осциллограф;
- 2) Генераторы электрических сигналов;
- 3) Соединительные кабели.

4. Ход работы:

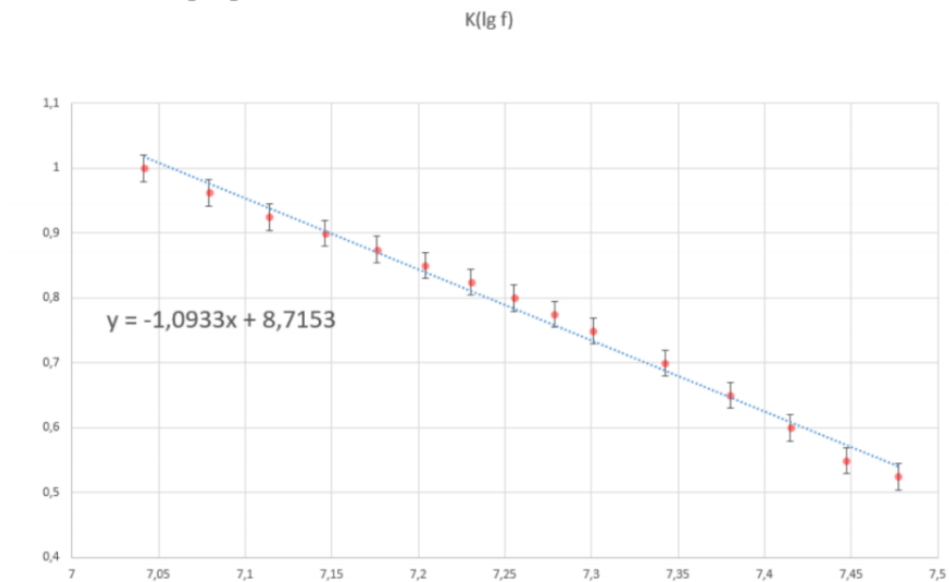
4.1 Наблюдение периодического сигнала от генератора и измерение его частоты.

Предварительно выполнив все инструкции, прописанные в руководстве, получим устойчивое изображение и настроим масштаб так, чтобы изображение занимала как можно больше места на экране.

В таблице ниже приведены результаты измерений периода сигнала от подаваемой частоты по формуле $f = \frac{1}{T}$.

По данным значениям построим график $K_{AC}(\lg f)$ и $K_{DC}(\lg f)$.

Однако, как видно из таблицы, значения U_{DC} и U_{AC} совпадают во всех точках, поэтому это будет один и тот же график.



| Измерение амплитудно-частотной характеристики осциллографа. | | | | | |
|---|-----------|-----------------|-----------------------|-----------------|-----------------------|
| f , МГц | $\lg f$ | $2U_{AC}$, дел | $U_{AC} = U_{AC}/U_0$ | $2U_{DC}$, дел | $U_{DC} = U_{DC}/U_0$ |
| 11 | 7,0413927 | 39 | 0,975 | 39 | 0,975 |
| 12 | 7,0791812 | 38,5 | 0,9625 | 38,5 | 0,9625 |
| 13 | 7,1139434 | 37 | 0,925 | 37 | 0,925 |
| 14 | 7,146128 | 36 | 0,9 | 36 | 0,9 |
| 15 | 7,1760913 | 35 | 0,875 | 35 | 0,875 |
| 16 | 7,20412 | 34 | 0,85 | 34 | 0,85 |
| 17 | 7,2304489 | 33 | 0,825 | 33 | 0,825 |
| 18 | 7,2552725 | 32 | 0,8 | 32 | 0,8 |
| 19 | 7,2787536 | 31 | 0,775 | 31 | 0,775 |
| 20 | 7,30103 | 30 | 0,75 | 30 | 0,75 |
| 22 | 7,3424227 | 28 | 0,7 | 28 | 0,75 |
| 24 | 7,3802112 | 26 | 0,65 | 26 | 0,65 |
| 26 | 7,4149733 | 24 | 0,6 | 24 | 0,6 |
| 28 | 7,447158 | 22 | 0,55 | 22 | 0,55 |
| 30 | 7,4771213 | 21 | 0,525 | 21 | 0,525 |

Как можно видеть, значение $K(f) = \frac{U(f)}{U_0}$ линейно спадает с ростом $\lg(f)$, а значит, и частоты входящего сигнала. Такое резкое понижение начинается при $f \approx 10\text{МГц}$.

Погрешность σ_K можно рассчитать как: $\sigma_K = \sqrt{(\frac{\Delta U}{U})^2 + (\frac{\Delta U_0}{U_0})^2}$. Возьмем максимальное значение U , тогда $\sigma_K = 0,0345$.

Из графика получаем, что коэффициент наклона k аппроксимирующей прямой, построенной с помощью метода наименьших квадратов, приблизительно равен -1.09 . Получим формулу для учета погрешности измерения амплитуды на высоких частотах:

$$U' = U + 1.09 \cdot U |\lg f - 7.15|.$$

где U' – настоящее значение амплитуды, U – измеренная амплитуда.

4.2 Измерение разности фазово-частотных характеристик каналов осциллографа

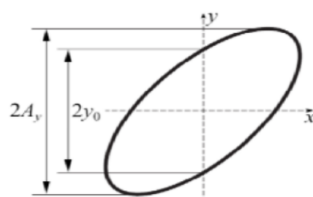
Для изучения ФЧХ осциллографа подадим сигнал на каналы X и Y.

Будем менять значения фаз для получения эллипса, задаваемого формулами:

$$x(t) = A_x \sin(\omega t + \phi_x), y(t) = A_y \sin(\omega t + \phi_y).$$

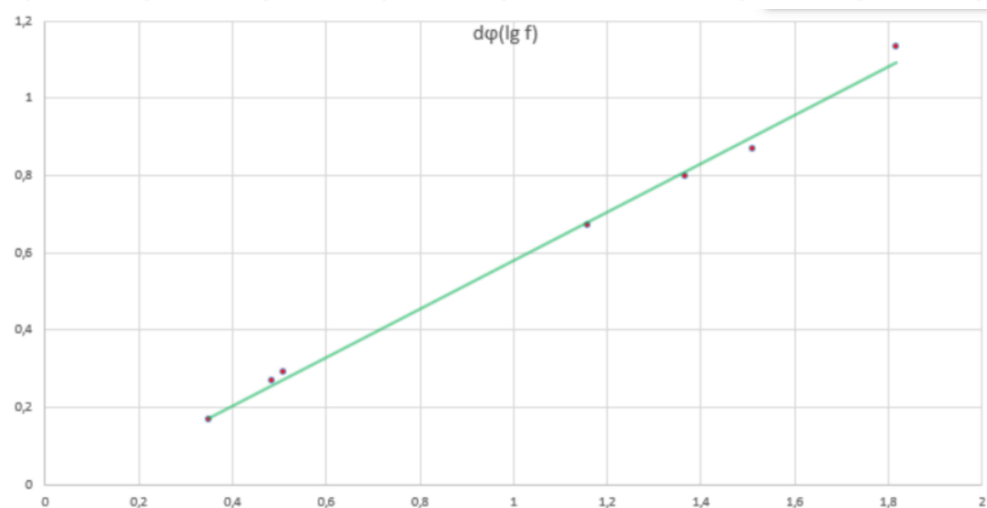
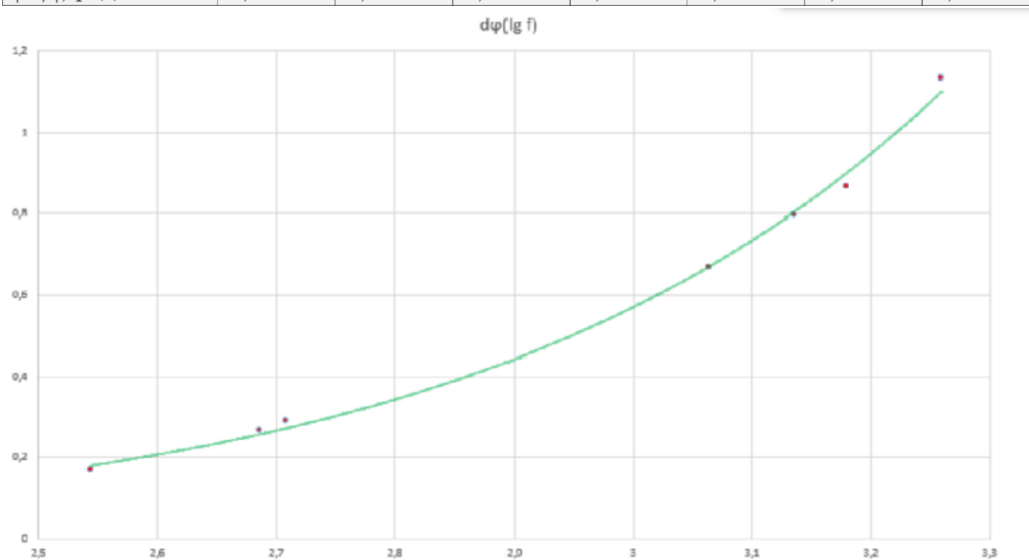
Пусть $\omega t = -\phi_x$. Тогда $\sin(|\Delta \phi|) = |\frac{y_0}{A_y}|$, где y_0 – отклонение по вертикали в момент $t = 0$.

Используя метод показанный ниже, заполним таблицу и получим зависимость $\Delta \phi(\lg f)$.



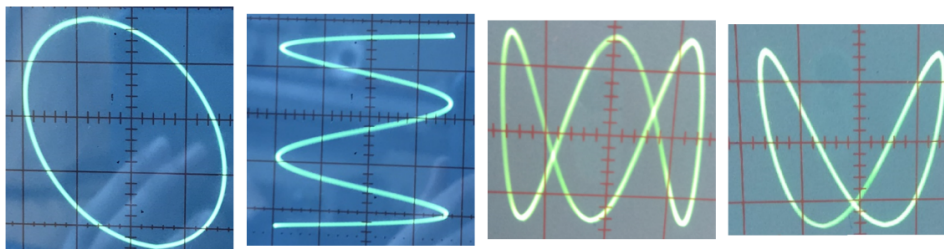
Построим графики зависимости $\Delta\phi$ от $\lg f$ и f :

| | | | | | | | |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| f , МГц | 1,1586 | 1,3669 | 1,5122 | 1,818 | 0,486 | 0,511 | 0,35 |
| $\lg f$ | 3,063934 | 3,135737 | 3,179609 | 3,259594 | 2,686636 | 2,708421 | 2,544068 |
| $ 2y_0 $, дел | 12 | 14 | 16 | 19,5 | 5,5 | 6 | 3,5 |
| $2A_y$ дел | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| $\arcsin y_0/A $, рад | 0,608246 | 0,729728 | 0,866249 | 1,190545 | 0,264995 | 0,289752 | 0,167448 |
| $ \Delta\varphi $, рад | 2,531754 | 2,410272 | 2,273751 | 1,949455 | 2,875005 | 2,850248 | 2,972552 |



Видно, что первая зависимость имеет экспоненциальный характер, а вторая линейный. Также можно заметить, что с возрастанием частоты отклонение точки от аппроксимирующей прямой, следовательно осциллограф может быть использован для определения разности фаз только при сравнительно небольших частотах.

4.3 Наблюдение фигур Лиссажу



5 Вывод

В данной работе мы познакомились с устройством и принципом работы осциллографа. Мы построили графики АЧХ и ФЧХ и выяснили, что на низких частотах осциллометр позволяет производить расчеты с достаточно высокой точностью.