

Лабораторная работа 1.1.6

"Изучение электронного осциллографа"

Учащийся 1 курса ЛФИ Гусаров Николай

Октябрь 2020

1. Цель лабораторной работы

Ознакомление с устройством и работой осциллографа и изучение его основных характеристик.

2. Оборудование

Осциллограф, генераторы электрических сигналов, соединительные кабели.

3. Теория

Основной частью электронного осциллографа является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ). Она представляет собой стеклянную, откачанную до высокого вакуума колбу, внутри которой разгоняются электроны. Пучок электронов формируется системой электродов, затем он разгоняется и фокусируется на экране.

При движении пучок проходит две пары отклоняющих пластин, изменяющих направление движения пучка вдоль перпендикулярных осей в плоскости экрана. Отклонение можно посчитать по формуле

$$h = \frac{l_1 L}{2dU_a} U_y \quad (1)$$

где l_1 – длина отклоняющей пары пластин вдоль начальной скорости электронов, L – расстояние от середины отклоняющей пары до экрана, d – расстояние между пластинами, U_a – ускоряющее напряжение, U_y – напряжение между пластинами.

(1) применима и в случае, если U_y переменное, но при условии, что оно мало изменяется за время пролета электрона в пластине. Однако, также стоит обратить внимание и на то, что обычно исследуемый сигнал, подаваемый на пластины, усиливается из-за низкой чувствительности ЭЛТ (или, наоборот, ослабляется). Таким образом, рабочая частота учебного осциллографа составляет 0–5 МГц, где смещение луча вдоль осей можно считать пропорциональным мгновенному значению напряжения.

Для получения на экране периодического электрического сигнала U_c :

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

U_{0y} – постоянное напряжение, определяющее расположение графика сигнала по оси Y, k_{yu} – коэффициент преобразования входного сигнала каналом вертикального отклонения.

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

Примечание по синхронизации:

1) Изображение будет бежать, если в автоматическом режиме не произошло пересечения U_y и $U_{ур}$ (уровня синхронизации).

2) Изображения будут накладываться друг на друга, если собственный период генератора развертки меньше периода исследуемого сигнала.

При работе будем учитывать частотные характеристики каналов вертикального и горизонтального отклонения: амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) и фазочастотную характеристику (ФЧХ). Если на вход Y осциллографа подаётся синусоидальное напряжение $U_y = U_0 \sin(2\pi ft)$ амплитудой U_0 и частотой f , то для перемещения луча на экране можно записать $y = y_0(f) \sin(2\pi ft + \Delta\Phi_y(f))$, где $y_0(f)$ – амплитуда перемещения луча на частоте f , $\Delta\Phi_y(f)$ – разность между фазой колебаний перемещения луча y и фазой колебаний входного сигнала U_y на частоте f , то есть сдвиг фаз.

Фигуры Лиссажу: При сложении двух взаимно перпендикулярных колебаний с равными или кратными частотами, поданных на входы осциллографа, луч описывает на экране неподвижные замкнутые кривые, которые называются фигурами Лиссажу. Пусть на горизонтально отклоняющие пластины подаётся напряжение $U_x = U_\alpha \cos(2\pi ft + \phi_1)$, а на вертикально отклоняющие пластины поступает смещённый по фазе сигнал той же частоты $U_y = U_\beta \cos(2\pi ft + \phi_2)$, ϕ_1 отличается от ϕ_2 . При чувствительностях пластин k_x и k_y координаты x, y светящегося пятна на экране будут определяться выражениями $y = A \cos(2\pi ft + \phi_1)$, $A = k_x U_\alpha$ и $y = B \cos(2\pi ft + \phi_2)$, $B = k_y U_\beta$. Из этих уравнений получим уравнение траектории движения луча: $\frac{x^2}{A^2} + \frac{y^2}{B^2} - 2\frac{xy}{AB} \cos(\phi_2 - \phi_1) = \sin^2(\phi_2 - \phi_1)$ – это эллипс, ориентация которого зависит от разности фаз колебаний.

4. Проведение эксперимента

4.1. Наблюдение периодического сигнала от генератора и измерение его частоты

Получаем на экране статичное изображение синусоидального сигнала и измеряем его период с учетом масштаба. Занесем результаты в таблицу 1. δf рассчитаем так:

$$\delta f = \frac{\Delta T k}{T} f$$

$$[\Delta T] = [\text{дел}], \Delta T = 0,1 \text{ дел}, [k] = [\text{с/дел}]$$

Таблица 1: Сравнение частоты ЗГ f_g и частоты по осцеллографу f

f_g , Гц	T , дел	мс/дел	T , мс	f , Гц	δf , Гц	$f - f_g$, Гц
$166,27 * 10^3$	3	$2 * 10^{-3}$	$6 * 10^{-3}$	$166,67 * 10^3$	$5,5 * 10^3$	396
1382	3,6	0,2	0,72	1388,9	38,6	6,9
205	5,9	2	11,8	84,7	1,5	-120,3
139	3,6	2	7,2	138,9	3,9	-0,1

Видно, что частоты совпадают с довольно хорошей точностью – ошибка порядка $10^{-4} \%$

4.2. Измерение амплитуды сигнала

На частоте равной $f = 1035,8$ Гц измерим максимальную и минимальную амплитуду напряжения:

$U_{max} = 4,2$ деления (5 В Вольт/дел, размах = 2 амплитуды)

$U_{min} = 1,2$ деления (5 мВ Вольт/дел, с нажатой АТТ -20 дБ и вытянутой ручкой (ещё -20 дБ), размах = 2 амплитуды)

$$\sigma U_{max} = \frac{\delta U_{max}}{U_{max}} = \frac{0,1 * 5}{4,2 * 5} = 2\%$$

$$\sigma U_{min} = \frac{\delta U_{min}}{U_{min}} = \frac{0,1 * 5 * 10^{-3}}{1,2 * 5 * 10^{-3}} = 8\%$$

Тогда по формуле

$$\beta_{21} = 10 \log_{10} \frac{P_{max}}{P_{min}} = 20 \log_{10} \frac{U_{max}}{U_{min}} = 20 \log_{10} \frac{4,2 * 5}{1,2 * 5 * 10^{-3}} \approx 70 \text{ (Дб)}$$

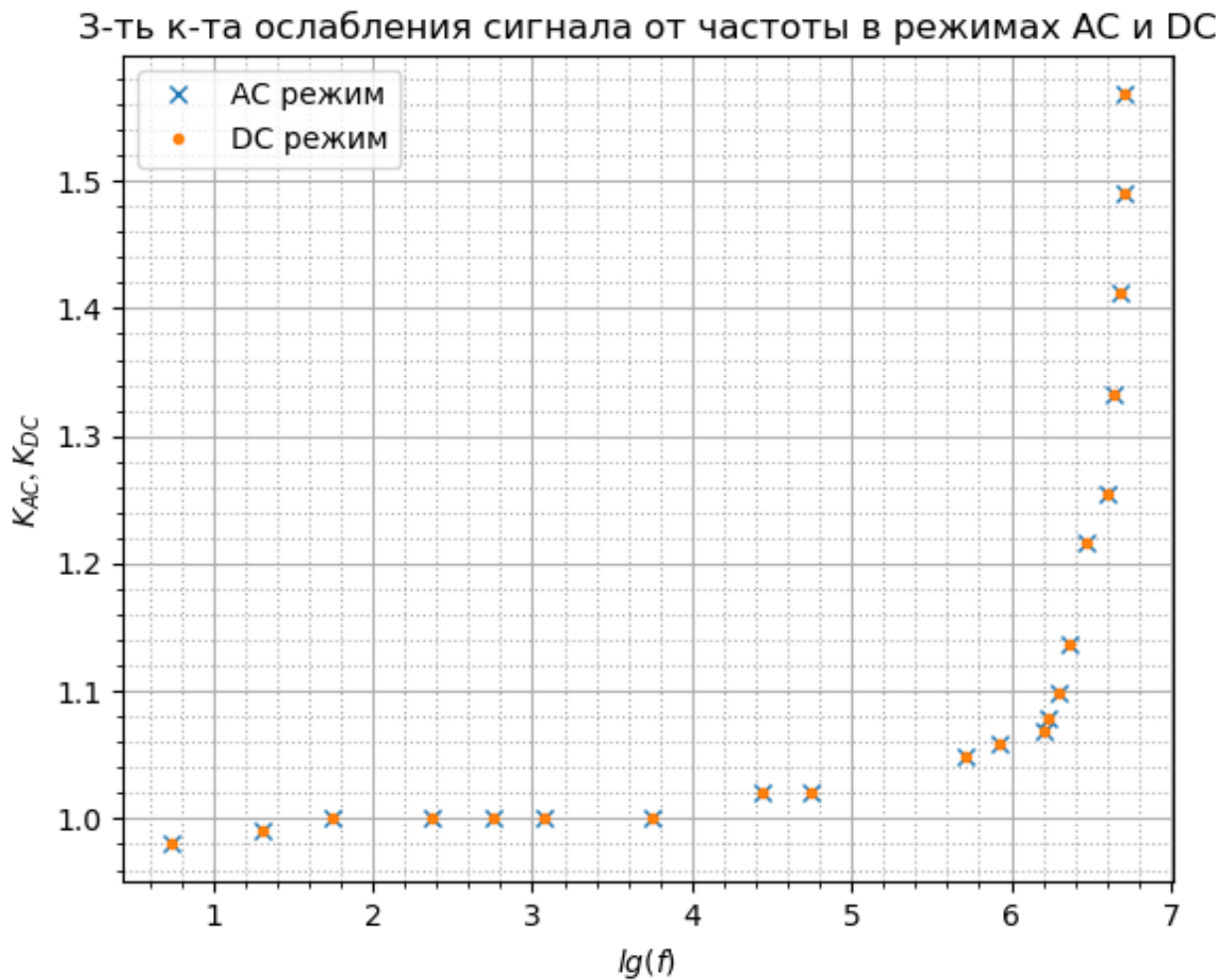
4.3. Измерение амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) осциллографа

Проведём измерение АЧХ используемого в работе осциллографа во всём диапазоне рабочих частот генератора в режимах АС и DC, исследуем зависимость отношения амплитуды сигнала на осциллографе $U(f)$ к исходной U_0 в зависимости от частоты: $K = \frac{U(f)}{U_0}$, $U_0 = 5,1$ дел (0.2V VOLTS/DIV). Занесем результаты в таблицу 2.

Таблица 2: АЧХ усилителей каналов

f, Гц	lg(f)	$2U_{AC}$, дел	$K_{AC} = U_{AC}/U_0$	$2U_{DC}$	$K_{DC} = U_{DC}/U_0$
5,4	0,732	5	0,98	5	0,98
20,1	1,303	5,05	0,99	5,05	0,99
55,2	1,742	5,1	1	5,1	1
234,4	2,37	5,1	1	5,1	1
561,6	2,749	5,1	1	5,1	1
$1,2 * 10^3$	3,079	5,1	1	5,1	1
$5,58 * 10^3$	3,747	5,1	1	5,1	1
$28 * 10^3$	4,447	5,2	1,02	5,2	1,02
$55 * 10^3$	4,74	5,2	1,02	5,2	1,02
$523 * 10^3$	5,719	5,35	1,049	5,35	1,049
$849 * 10^3$	5,929	5,4	1,059	5,4	1,059
$1,6 * 10^6$	6,204	5,45	1,069	5,45	1,069
$1,7 * 10^6$	6,23	5,5	1,078	5,5	1,078
$2 * 10^6$	6,301	5,6	1,098	5,6	1,098
$2,3 * 10^6$	6,362	5,8	1,137	5,8	1,137
$3 * 10^6$	6,477	6,2	1,216	6,2	1,216
$4 * 10^6$	6,602	6,4	1,255	6,4	1,255
$4,4 * 10^6$	6,643	6,8	1,333	6,8	1,333
$4,9 * 10^6$	6,69	7,2	1,412	7,2	1,412
$5,1 * 10^6$	6,708	7,6	1,49	7,6	1,49
$5,2 * 10^6$	6,716	8	1,569	8	1,569

Построим в единых осях графики зависимостей коэффициента ослабления сигнала от частоты в логарифмическом масштабе по частоте $K_{AC}(lg f)$ и $K_{DC}(lg f)$.

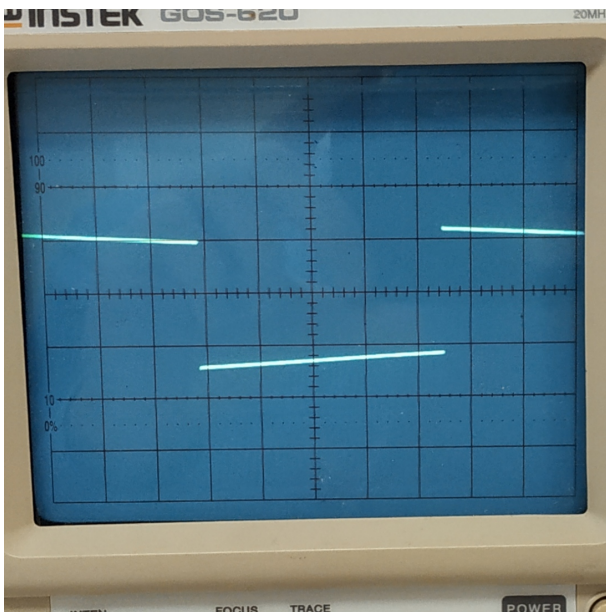
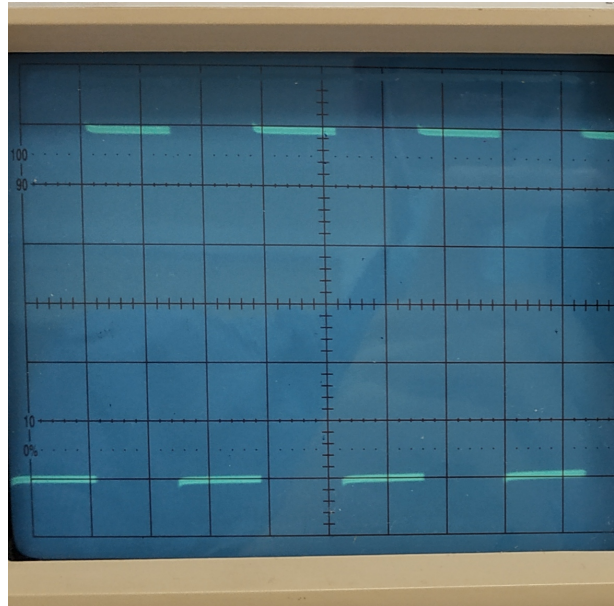
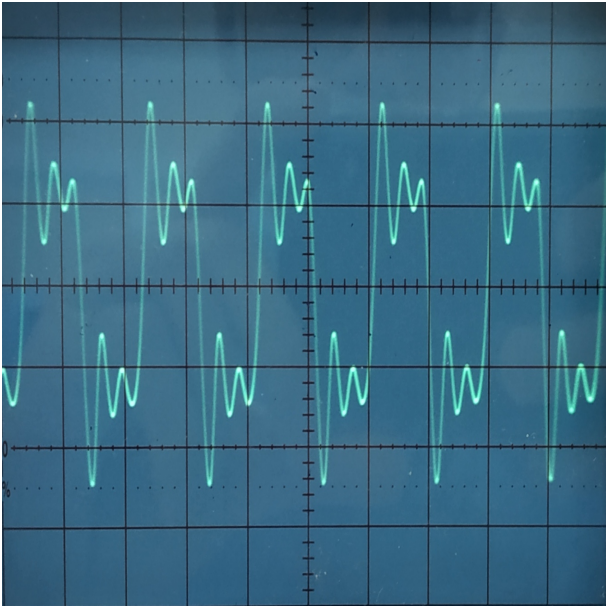


До 1,6 по оси x функция плавно возрастает. На участке от 1,6 до 4 по оси x видна прямая $y = 1,0$, которая затем переходит в экспоненциальную з-ть.

При DC - напряжение абсолютное, а при АС - действующее. в режиме АС сигналы измеряются относительно некоторого среднего значения (постоянной составляющей), как это делается в осциллографах при подключении сигнала через разделительный конденсатор. А в режиме DC измеряются абсолютные значения сигнала, а в осциллографах сигналы подаются напрямую. Однако отличие получено не было.

4.4. Изучение влияния АЧХ на искажение сигнала

При частотах $f = 2,6 \cdot 10^6, 1,8 \cdot 10^3, 55$ Гц при АС наблюдались соответствующие картины

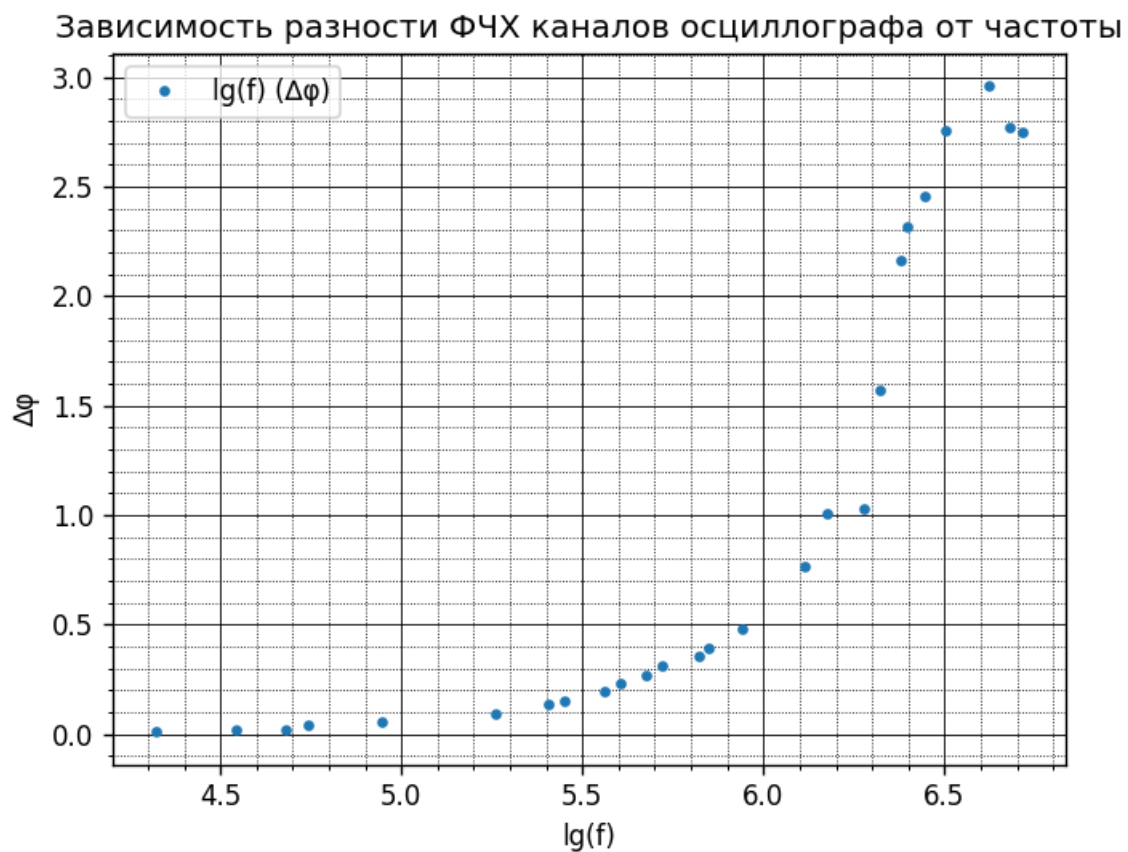


4.5. Измерение разности фазово-частотных характеристик (ФЧХ) каналов осциллографа

Подадим сигнал на оба канала с помощью разветвителя. Изменяя частоту генератора, проведем измерение разности фаз. Занесём результаты в таблицу 3. Построим график зависимости разности ФЧХ каналов осциллографа от частоты в логарифмическом масштабе по частоте $\Delta\phi(\lg f)$

Таблица 3: ФЧХ каналов осциллографа

f, кГц	lg f	$ 2y_0 $, дел	$ 2A_y $, дел	$\arcsin y_0/A_y $, рад	$\Delta\phi$, рад
$5,2 \cdot 10^3$	6,72	3	7,8	0,39	2,75
$4,8 \cdot 10^3$	6,68	2,6	7,2	0,37	2,77
$4,2 \cdot 10^3$	6,62	1,2	6,6	0,18	2,96
$3,2 \cdot 10^3$	6,51	2,4	6,4	0,38	2,76
$2,8 \cdot 10^3$	6,45	3,8	6	0,69	2,46
$2,5 \cdot 10^3$	6,4	4,4	6	0,82	2,32
$2,4 \cdot 10^3$	6,38	4,8	5,8	0,97	2,17
$2,1 \cdot 10^3$	6,32	5,6	5,6	1,57	1,57
$1,9 \cdot 10^3$	6,28	4,8	5,6	1,03	1,03
$1,5 \cdot 10^3$	6,18	4,4	5,2	1,01	1,01
$1,3 \cdot 10^3$	6,11	3,6	5,2	0,76	0,76
871	5,94	2,4	5,2	0,48	0,48
704	5,85	2	5,2	0,39	0,39
661	5,82	1,8	5,2	0,35	0,35
523	5,72	1,6	5,2	0,31	0,31
474	5,68	1,4	5,2	0,27	0,27
404	5,61	1,2	5,2	0,23	0,23
363	5,56	1	5,2	0,19	0,19
283	5,45	0,8	5,2	0,15	0,15
255	5,41	0,7	5,2	0,14	0,14
182	5,26	0,5	5,2	0,1	0,1
88	4,94	0,3	5,2	0,06	0,06
55	4,74	0,2	5,1	0,04	0,04
48	4,68	0,1	5,1	0,02	0,02
35	4,54	0,1	5,1	0,02	0,02
21	4,32	0,05	5,1	0,01	0,01

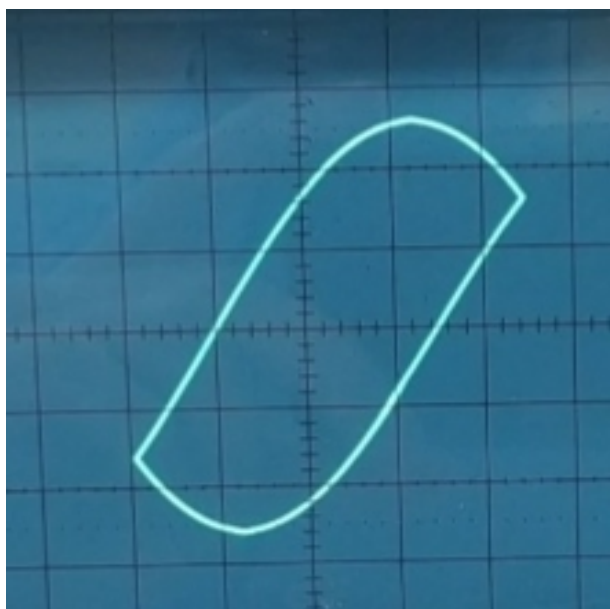
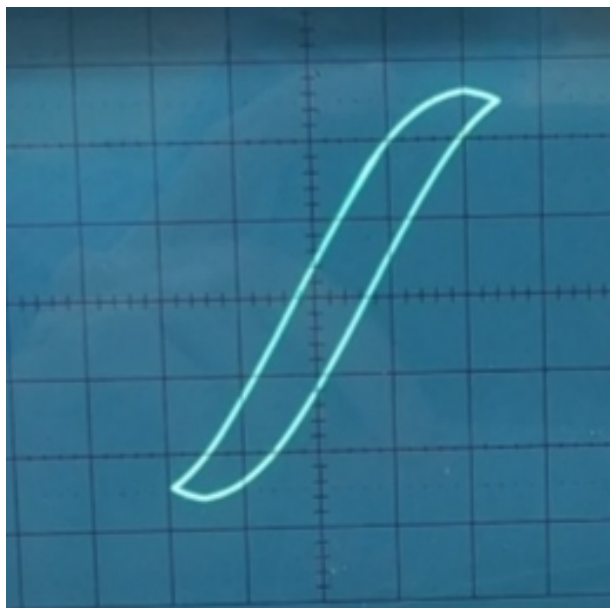


На графике 3-ти разности ФЧХ каналов от частоты видна экспоненциальная зависимость, которая однако при $\lg(f) > 6,4$ начинает расти медленнее, а затем и вовсе две последние точки выбиваются. Это может быть связано с пределом измеряемых осциллографом частот.

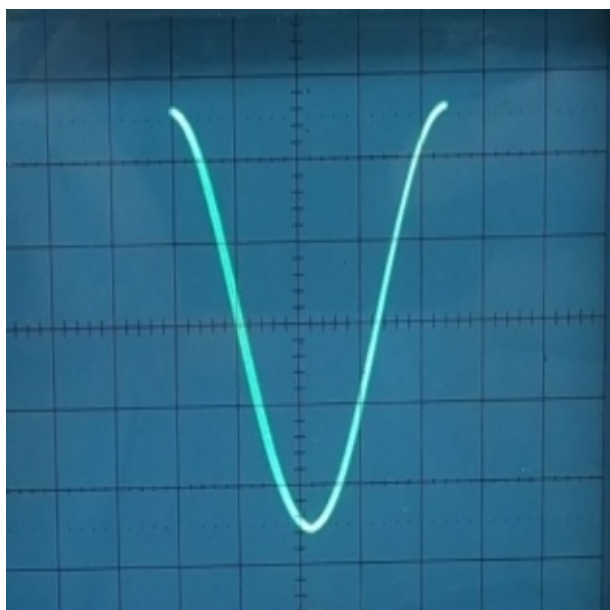
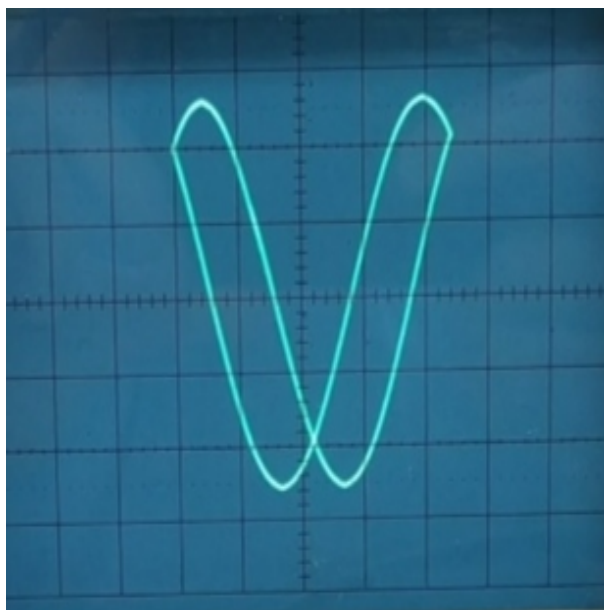
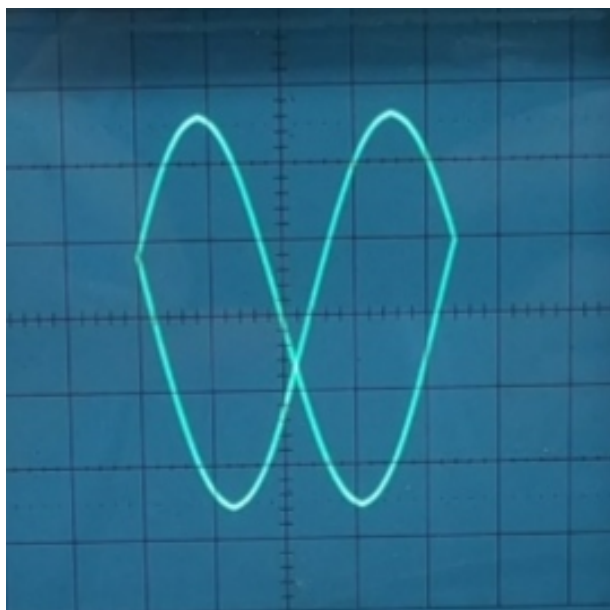
4.6. Наблюдение фигур Лиссажу и измерение частоты

Подадим на вход разных каналов сигнал от разных генераторов. Установим одинаковые частоты сигнала в диапазоне 50-100 Гц. Изменяя отношение частот, получим на экране фигуры Лиссажу.

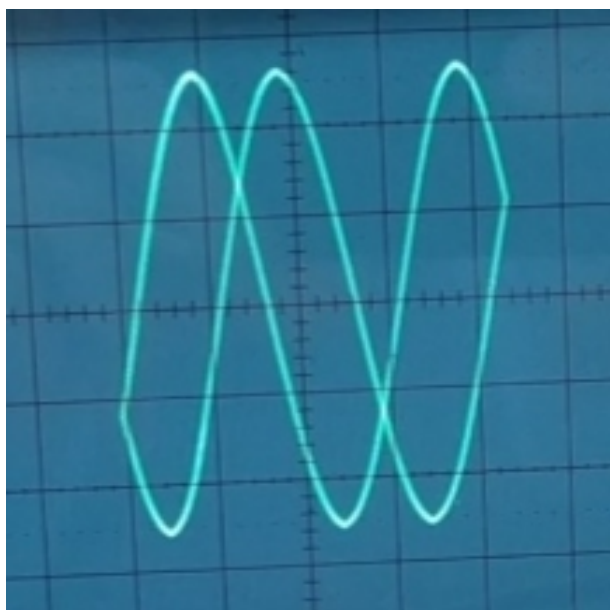
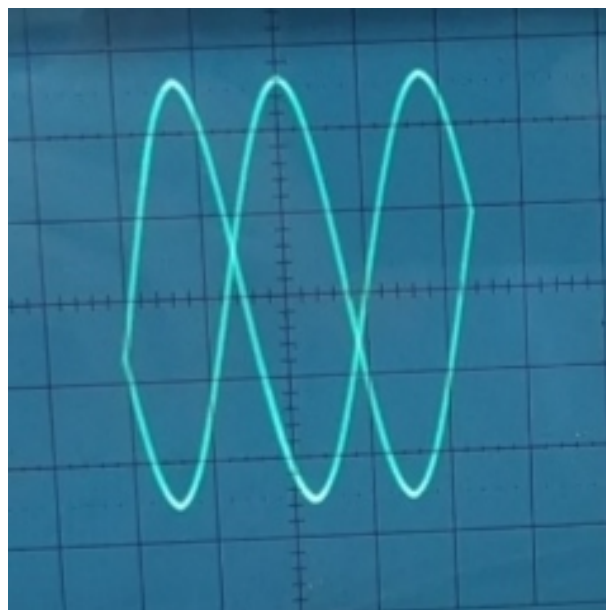
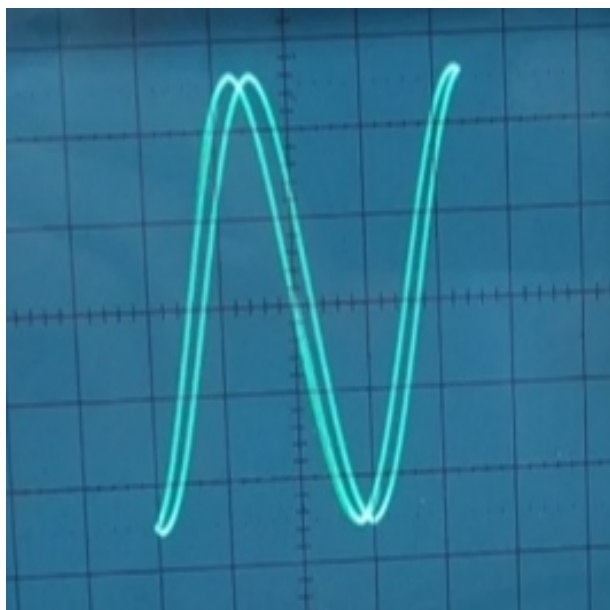
4.6.1. $f_x : f_y = 1 : 1$



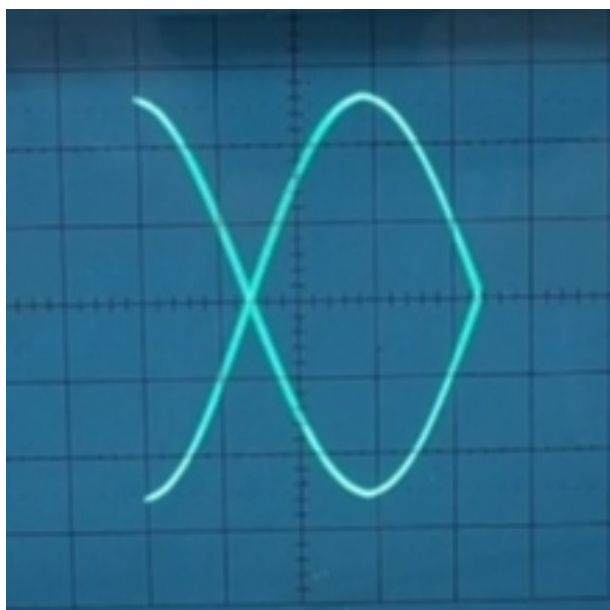
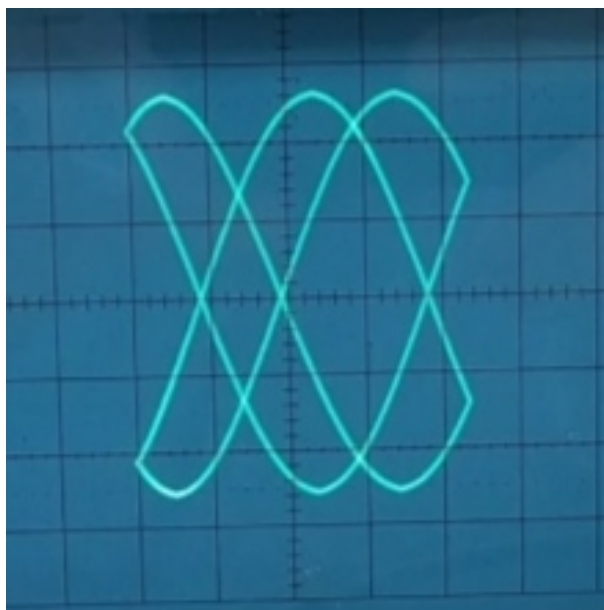
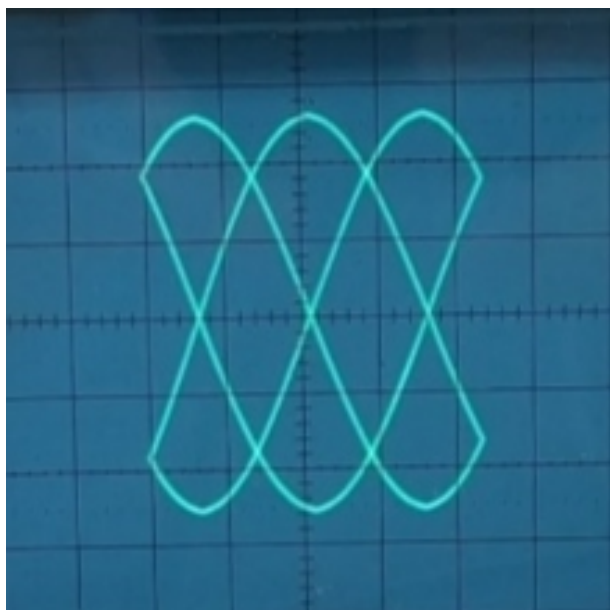
4.6.2. $f_x : f_y = 1 : 2$



4.6.3. $f_x : f_y = 1 : 3$



4.6.4. $f_x : f_y = 2 : 3$



5. Заключение

Проведя эксперимент, мы изучили устройство осциллографа. Также мы исследовали АЧХ И ФЧХ каналов, нашли отношение максимальной и минимальной амплитуды в децибелах. Мы научились определять отношение частот сигналов разных каналов по фигурам Лиссажу.