

Лабораторная работа 1.1.6

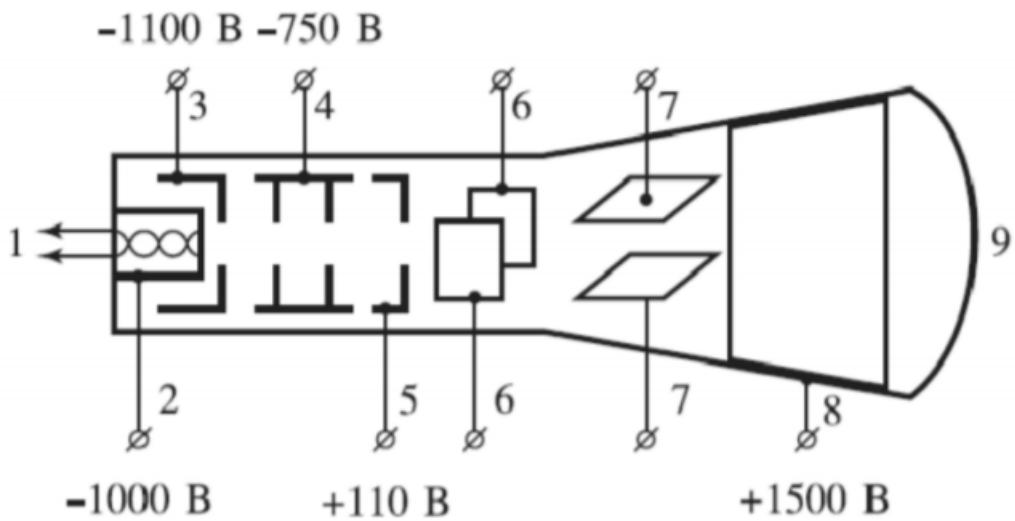
06 ноября 2020 г.

Б01-005Б

Старченко Иван Александрович
Изучение электронного осциллографа

Цель работы: ознакомление с устройством работы осциллографа и изучение его основных характеристик.

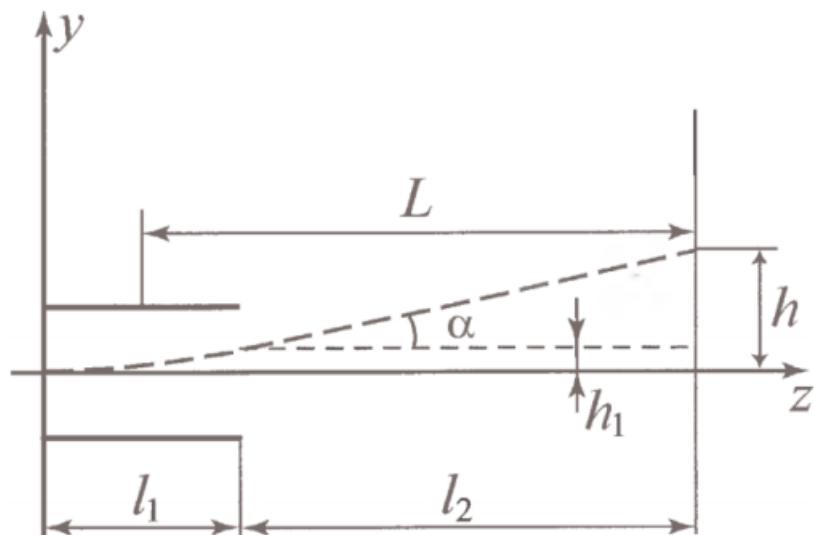
Используемое оборудование: осциллограф GOS-620, генераторы электрических сигналов, соединительные провода, резистор, конденсатор.



Здесь 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.

Электронный пучок формируется системой электродов, называемой "электронной пушкой": катод с нагревателем, модулятор, фокусирующий и ускоряющий аноды. Яркость изображения на экране осциллографа регулируется напряжением на модуляторе (изменяется ручкой "INTEN"), фокус изображения зависит от потенциала первого анода, который можно менять ручкой "FOCUS".

На пути пучка электронов находятся 2 конденсатора, электрическое поле в которых взаимно ортогонально, чтобы отклонять пучок в двух взаимных направлениях декартовой системы координат. Регулируя напряжения на конденсаторах, можно определить положения пучка электронов на экране.



Рассматривая движение пучка в электрических полях пластин можно вывести смещение h электронного пятна на экране осциллографа: $h = \frac{l_1 L}{2dU_\alpha} \cdot U_y$, где l_1 – длина пластин, L - расстояние от середины пластин до экрана, d – расстояние между пластинами, U_α – ускоряющее напряжение на втором аноде.

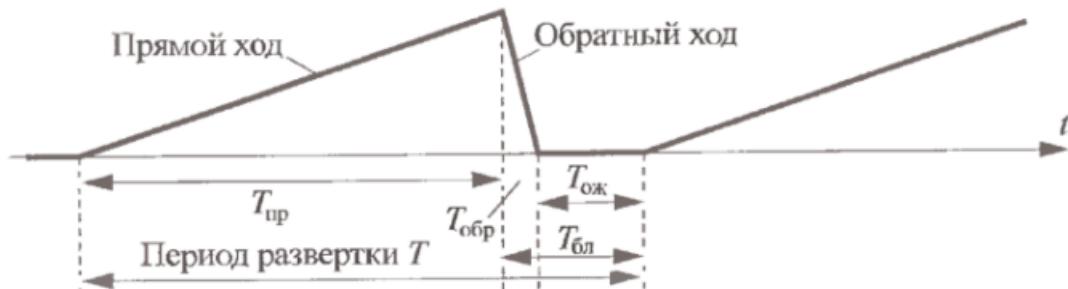
Чувствительность ЭЛТ к напряжению: $k = \frac{l_1 L}{2dU_\alpha}$. Обе последние формулы применимы тогда, когда за время пролёта пучка напряжения на конденсаторах практически не меняется. В итоге получается, что смеще-

ние частицы в выбранном направлении прямо пропорционально напряжению на конденсаторе.

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 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.

Напряжение пилообразной формы, вырабатываемое генератором развертки осциллографом, изображено на рисунке. Во время прямого хода луч проходит через весь экран слева направо, после чего напряжение сбрасывается во время обратного хода. Далее после времени ожидания снова появляется луч на экране. Общее время ожидания и обратного хода называется временем блокировки.



При наблюдении периодических быстропротекающих процессов важно зафиксировать изображение на экране, для чего используется синхронизация: для неподвижного изображения необходимо, чтобы период развертки был кратен периоду излучаемого сигнала, что можно сделать, "навязав" свой период генератору развертки (для генератора развертки есть несколько режимов на осциллографе).

Ход работы

1. Наблюдение периодического сигнала от генератора и измерение его частоты

Настроим осциллограф на работу, выставив все нужные параметры на ручках и кнопках (см. приложение работы осциллографа GOS-620).

Подключим звуковой генератор в каналу *CH2*, выставив частоту на генераторе $f_{зГ} = 1$ кГц, и получим на экране устойчивую картину колебаний.

Измерим период наблюдаемого сигнала для заданной частоты, далее проделываем то же самое для других значений частот звукового генератора:

$f_{зГ}$, кГц	T , дел	мс/дел	T , мс	f , кГц	δf , кГц	$f - f_{зГ}$, кГц
0,01	5	20	100	0,01	0,0004	0
0,05	5	4	20	0,05	0,002	0
0,1	5	2	10	0,1	0,004	0
1	5	0,2	1	1	0,04	0
10	5	0,02	0,1	10	0,4	0
100	5	0,002	0,01	100	4	0
1000	5	0,0002	0,001	1000	40	0
10000	5	0,00002	0,0001	10000	400	0

Погрешности частот найдены по следующим формулам:

$$\delta f = \frac{\delta T}{T^2}, \text{ где } \delta T = 0,2 \cdot [\text{мс/дел}]$$

2. Измерение амплитуды сигнала

Для начала измерим максимальную и минимальную амплитуды напряжений от генератора:

$$U_{min} = 0,004 \text{ В}, U_{max} = 20 \text{ В}$$

Выразим отношение максимального и минимального уровней сигнала в децибелах [дБ]:

$$\beta = 10 \cdot \lg \frac{P_2}{P_1} = 20 \cdot \lg \frac{U_2}{U_1} = 20 \cdot \lg \frac{U_{max}}{U_{min}} = 73,98 \text{ [дБ]}$$

Здесь было учтено, что средняя мощность попрорциональная амплитуде в квадрате: $P \sim U^2$.

3. Измерение амплитудно-частотной характеристики осциллографа

Амплитудо-частотной характеристикой (АЧХ) измерительного прибора называют зависимость амплитуды измеряемого сигнала от частоты сигнала, подаваемого на вход.

Установим частоту сигнала генератора $f = 1$ кГц и получим устойчивое изображение синусоиды на экране. Подберём масштаб вертикальной шкалы осциллографа так, чтобы размах (удвоенная амплитуда) сигнала на экране составил $2U_0 = 4,0$ дел и далее не будем его менять.

Будем изменять частоту генератора во всём возможном диапазоне измерений, исследуя зависимость отношение амплитуды сигнала на осциллографе $U(f)$ к исходной U_0 в зависимости от частоты:

$$K(f) = \frac{U(f)}{U_0}$$

Составим таблицу для открытого сигнала DC:

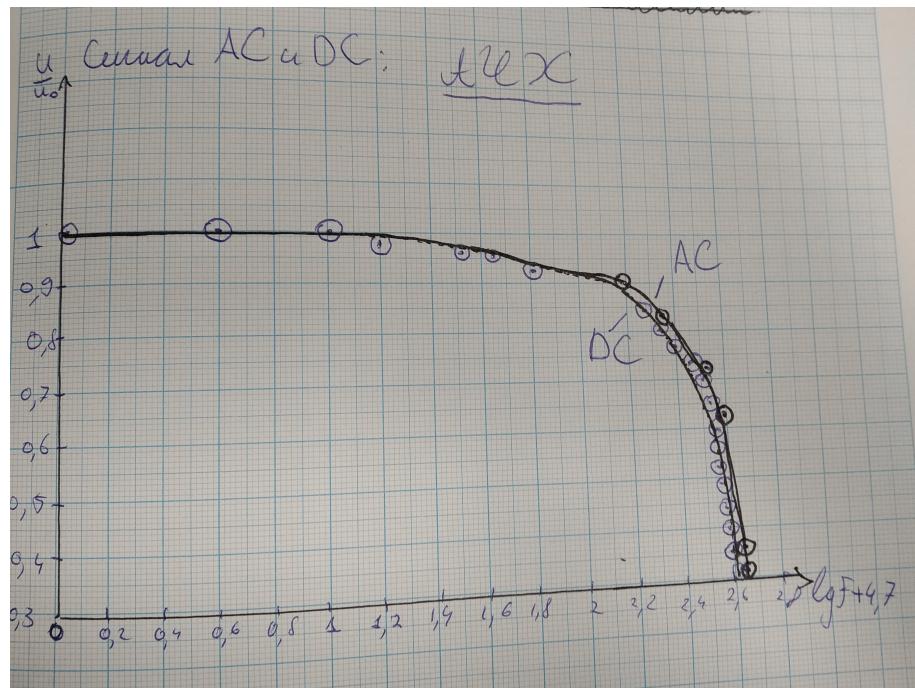
$\frac{U}{U_0}$	1	1	1	0.96	0.96	0.92	0.88	0.84	0.80	0.76
f , МГц	0.05	0.2	0.5	0.7	2.0	6.0	7.0	9.0	10.1	12.0
lgf	4.70	5.30	5.70	5.85	6.32	6.78	6.85	6.95	7.00	7.08
$\frac{U}{U_0}$	0.68	0.64	0.6	0.56	0.52	0.48	0.44	0.4	0.36	0.32
f , МГц	13.0	15.0	16.0	17.5	19.8	21.1	22.5	24.2	26.3	28.5
lgf	7.11	7.18	7.20	7.24	7.30	7.32	7.35	7.38	7.42	7.46

Заметим, что при очень низких частотах отношения напряжений равно единице, поэтому в таблицу такие данные мы не записали.

Теперь составим таблицу для закрытого сигнала AC:

$\frac{U}{U_0}$	1	1	1	1	0.96	0.92	0.88	0.84	0.80	0.76
f , МГц	0.05	0.2	0.5	0.8	2.0	6.0	7.4	9.0	10.4	12.0
lgf	4.70	5.30	5.70	5.90	6.32	6.78	6.87	6.95	7.02	7.08
$\frac{U}{U_0}$	0.68	0.64	0.6	0.56	0.52	0.48	0.44	0.4	0.36	0.32
f , МГц	14.0	15.0	16.7	17.5	19.8	21.1	22.5	24.2	25.1	27.6
lgf	7.15	7.18	7.22	7.24	7.3	7.32	7.35	7.38	7.40	7.44

Построим в единых осях графики зависимостей коэффициента ослабления сигнала от частоты – графики практически совпадают.

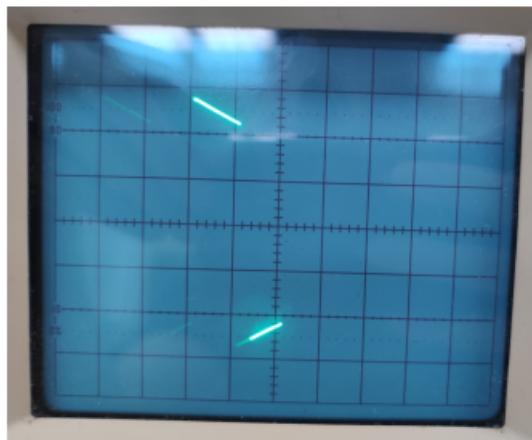


4. Изучение влияния АЧХ на искажение сигнала

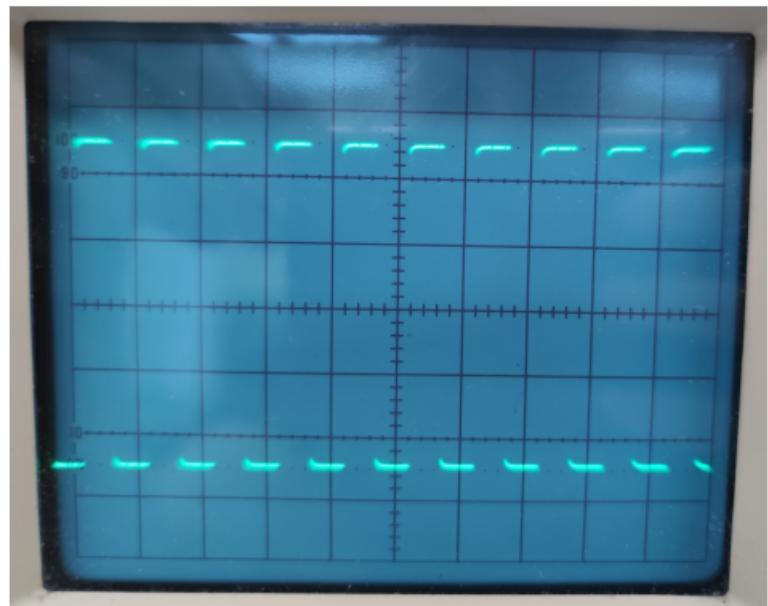
Переключим режим сигнала с синусоидального на прямоугольные импульсы – миандры. Частоту генератора будем менять в широком диапазоне частот.

Для открытого сигнала получим следующие картины на экране:

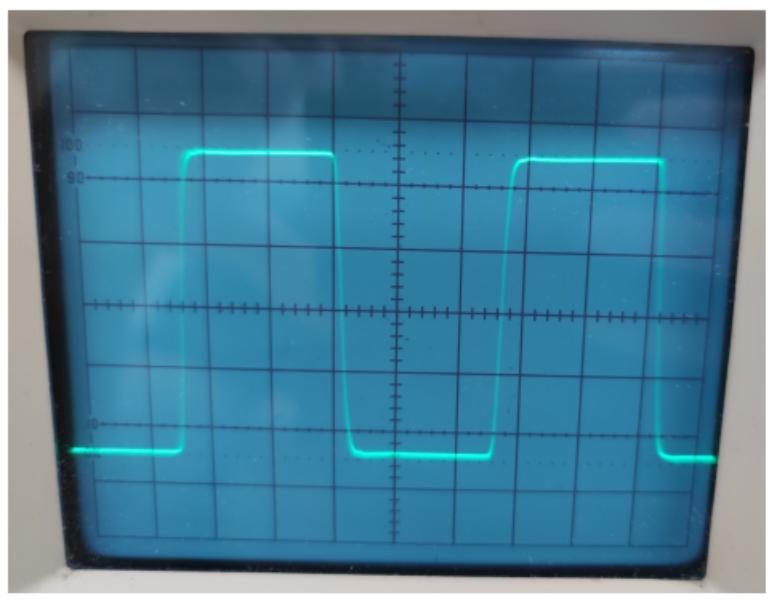
$$f = 50 \text{ Гц}$$



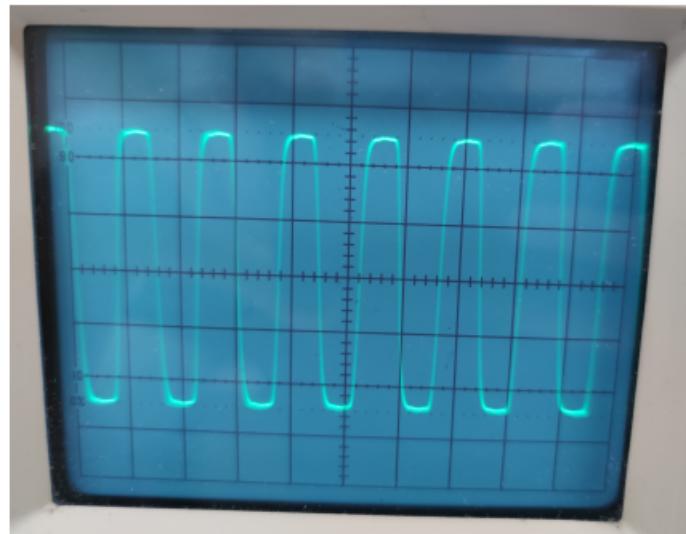
$f = 10 \text{ кГц}$



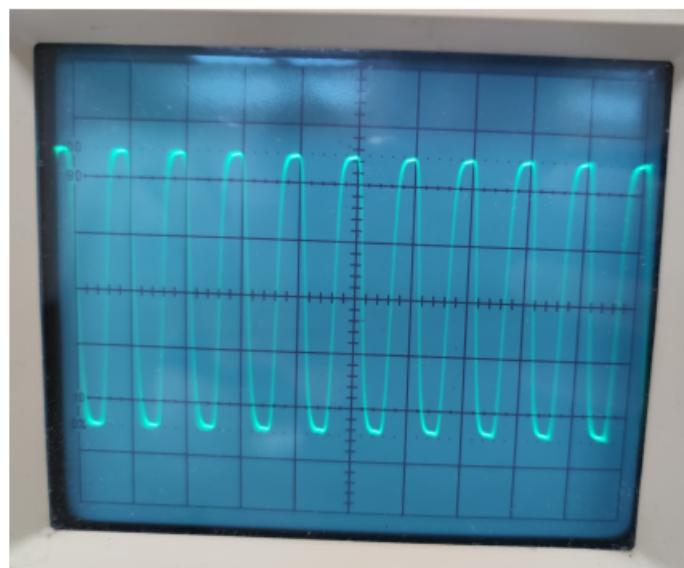
$f = 100 \text{ кГц}$



$$f = 1 \text{ МГц}$$



$$f = 5 \text{ МГц}$$



Можно заметить, что наибольшие искажения наблюдаются при очень малых и больших частотах. Причинами искажения формы сигнала могут быть неудовлетворительные амплитудные и фазочастотные характеристики усилителей и делителей напряжения, неравномерная развертка, а также сама электроннолучевая трубка. Искажение осциллограмм может

также вызываться внешними электрическими и магнитными полями, в частности полями электрической сети.

Кроме неизбежных искажений осциллографом, вызываемых влиянием емкости пластин и подводящих проводов, качество воспроизведения осциллографом в значительной мере зависит от схемы включения электронолучевой трубы.

Картины для закрытого входа имеют примерно тот же вид.

5. Измерение разности фазово-частотных характеристик каналов осциллографа

Фазово-частотной характеристикой ($\Phi\text{ЧХ}$) называют зависимость разности фаз входного и выходного сигналов от частоты. Осциллограф может быть использован для измерения разности фаз между подаваемыми на него сигналами, при этом однако необходимо учитывать, что каналы X и Y могут иметь разные $\Phi\text{ЧХ}$.

Измерим разность фаз, возникающую при подаче одного и того же сигнала на разные каналы осциллографа, в зависимости от частоты сигнала.

Зафиксируем частоту генератора $f = 1$ кГц, подадим синусоидальный сигнал через разветвитель сразу на два канала $CH1$ и $CH2$.

Выключим внутреннюю развертку осциллографа, переведя переключатель $TIME/DIV$ в положение $X - Y$. В этом режиме отклонение луча на экране пропорционально подаваемым на каналы напряжениям $Y(t) = k_y U_y(t)$, $X(t) = k_x U_x(t)$, где коэффициенты масштаба k_x , k_y определяются положениями ручек $VOLTS/DIV$.

Установим переключатели режимов каналов X и Y в положение GND (выключены) и ручками $POSITION$ установим точку в центр экрана. После этого установим переключатели режимов каналов X и Y в положения AC (закрытые входы). Используя ручки $VOLTS/DIV$ обоих каналов, получим на экране отрезок прямой (вырожденный эллипс) под углом 45° к горизонтали, занимающий большую часть экрана.

Изменяя частоту генератора f во всем доступном диапазоне найдём участки, на которых изображение на экране переходит из отрезка в невырожденный эллипс. На этих участках проведём подробное измерение разности фаз $\varphi(f)$ между каналами X и Y в зависимости от частоты.

При подаче на взаимно перпендикулярные отклоняющие пластины двух синусоидальных сигналов траектория луча на экране осциллографа представляет собой эллипс и может быть в общем виде описана уравнениями

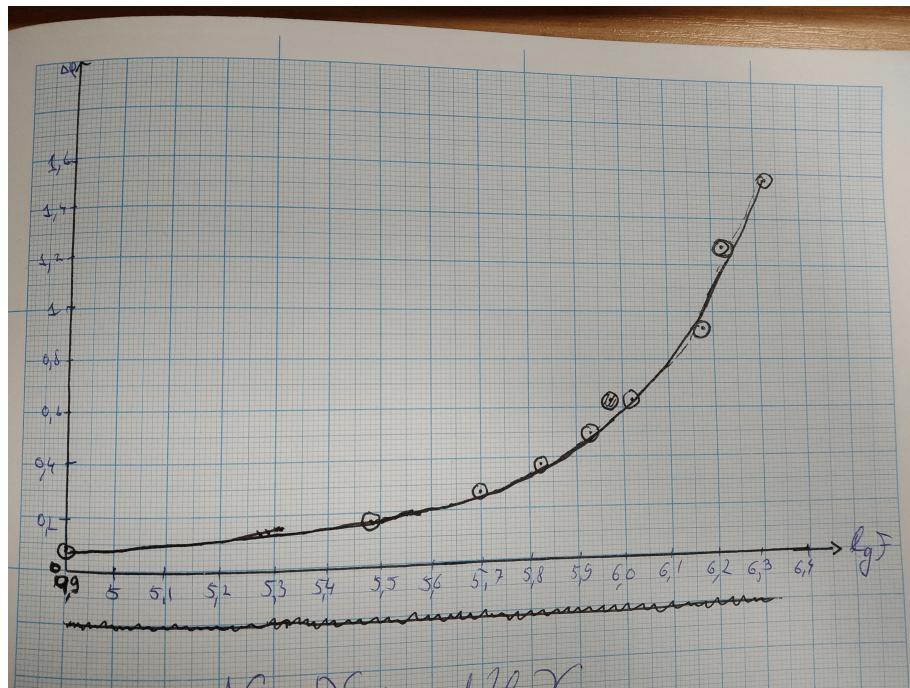
$$x(t) = A_x \sin(\omega t + \varphi_x), \quad y(t) = A_y \sin(\omega t + \varphi_y)$$

Из этих формул нетрудно получить разность фаз (см. картину):

$$|\Delta\varphi| = \arcsin \left| \frac{y_0}{A_y} \right|, \text{ или } |\Delta\varphi| = \pi - \arcsin \left| \frac{y_0}{A_y} \right|$$

Занесём все измеренные данные в таблицу и построим на их основе график зависимости $\varphi(lgf)$ с учётом того, что по условию достаточно определить только модуль разности фаз:

f , кГц	80	300	500	680	870	1100	1500	1700	2100
lgf	4,9	5,48	5,7	5,83	5,94	6,04	6,18	6,23	6,32
$ 2y_0 $, В	0,4	0,8	1,2	1,6	2,2	2,8	3,5	4	4,2
$ 2A_y $, В	5	5	5	4,8	4,6	4,6	4,4	4,2	4,2
$\Delta\varphi$	0,08	0,16	0,24	0,34	0,50	0,65	0,92	1,26	1,57
$\arcsin \left \frac{y_0}{A_y} \right $	0,08	0,16	0,24	0,34	0,50	0,65	0,92	1,26	1,57

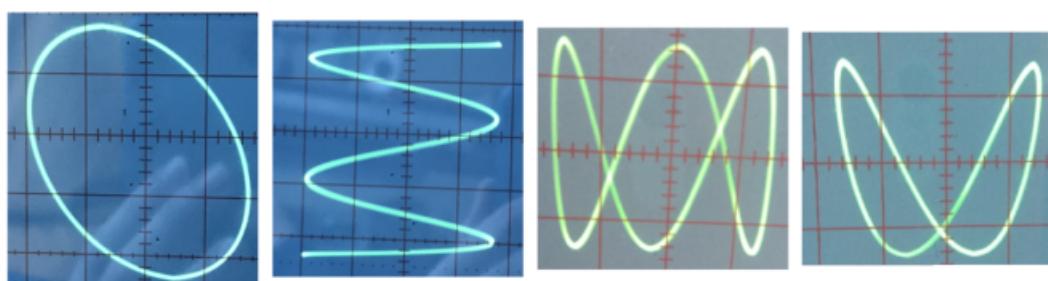


При низких частотах наблюдать разность фаз невозможно, так как эллипс остаётся вырожденным и расстояния нельзя посчитать. Поэтому разность фаз можно наблюдать только начиная с частот порядка 10 кГц.

6. Наблюдение фигур Лиссажу и измерение частоты

Подадим на вход каналов X и Y осциллографа сигналы с двух разных звуковых генераторов. Установим приблизительно одинаковые частоты генераторов. Амплитуды генераторов и положения ручек *VOLTS/DIV* осциллографа установим таким образом, чтобы фигура Лиссажу занимала большую часть экрана, не выходя за его пределы.

Изменяя f_x , получим устойчивые фигуры для нескольких целочисленных отношений частот.



На рисунках приведены фигуры Лиссажу со следующими отношениями частот соответственно: 1 : 1, 1 : 5, 3 : 1, 2 : 1.

Определить отношение частот по фигуре Лиссажу можно следующим способом: проводим такие вертикальную и горизонтальную линии через фигуру, чтобы количество пересечений этих линий с фигурой было максимальным и считаем количество пересечений этих пересечений. Так как сигналы изменяются гармонически, то количество пересечений определяются периодом сигнала, значит и частотой сигнала.

Выводы

В результате знакомились с устройством и принципом работы осциллографа GOS-620, изучили его основные характеристики. Также научились пользоваться генератором звуковых частот, исследовали искажения изображений на экране осциллографа при больших частотах, научились наблюдать фигуры Лиссажу.