

Отчет о выполнении лабораторной работы 1.1.6
Изучение электронного осциллографа.

Варламов Антоний, группа Б02-928

11 ноября 2019 г.

1 Теоретический материал.

Осциллограф – регистрирующий прибор, в котором исследуемый сигнал преобразуется в видимый на экране график изменения напряжения от времени. Осциллограф широко используется в физическом эксперименте, так как с его помощью можно регистрировать любую величину, которую можно преобразовать в электрический сигнал.

1.1 Устройство осциллографа.

Схема устройства осциллографа приведена на рисунке 1.

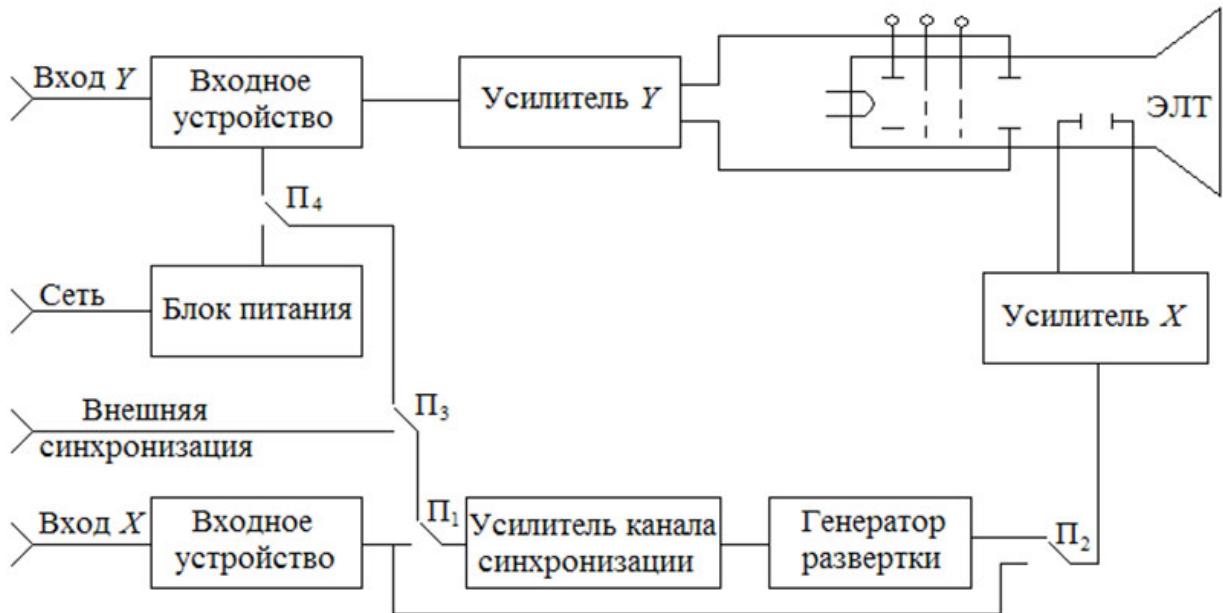


Рис. 1: Схема устройства осциллографа.

1.2 Принцип работы.

Основной элемент осциллографа – электронно-лучевая трубка. Электронный пучок формируется системой электродов, называемой электронной пушкой: катод с нагревателем, модулятор, фокусирующий и ускоряющий аноды. Форма, размеры и расположение электродов подобраны таким образом, чтобы разгонять электроны и фокусировать пучок на экране.

На пути к экрану, сформированный пучок проходит две пары отклоняющих пластин. Две вертикальные пластины образуют плоский конденсатор, поле которого способно отклонять пучок в горизонтальном направлении. Аналогично, поле горизонтального конденсатора способно отклонять пучок в вертикальном направлении. Подавая на пластины электрическое напряжение и отслеживая траекторию пучка на экране можно анализировать входящий сигнал.

Развертка.

Так как подаваемые на пластины сигналы лежат в довольно широком диапазоне, а чувствительность трубы довольно сильно ограничена, то в конструкции осциллографа присутствуют делители и усилители.(Рис. 1)

Для получения на экране изображения необходимо выполнение двух условий:

- Подаваемое на вертикально отклоняющие пластины напряжение должно линейно зависеть от сигнала.
- Подаваемое на горизонтально отклоняющие пластины напряжение должно линейно зависеть от времени.

В таком случае, напряжение пилообразной формы, вырабатываемое генератором, (Которое называется напряжением развертки) имеет вид, представленный на рисунке 2.

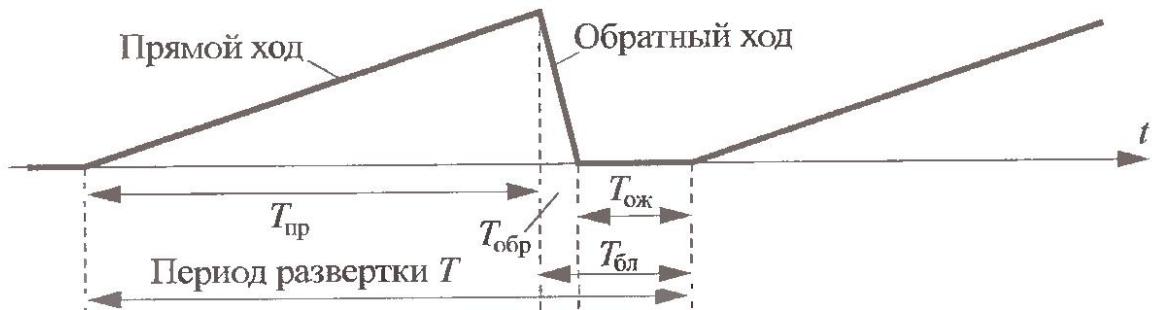


Рис. 2: Напряжение развертки.

Кроме того, еще один важный процесс - синхронизация. Для получения устойчивой картины сигнала на экране необходимо, чтобы период развертки был кратен периоду самого сигнала (Рис.3)

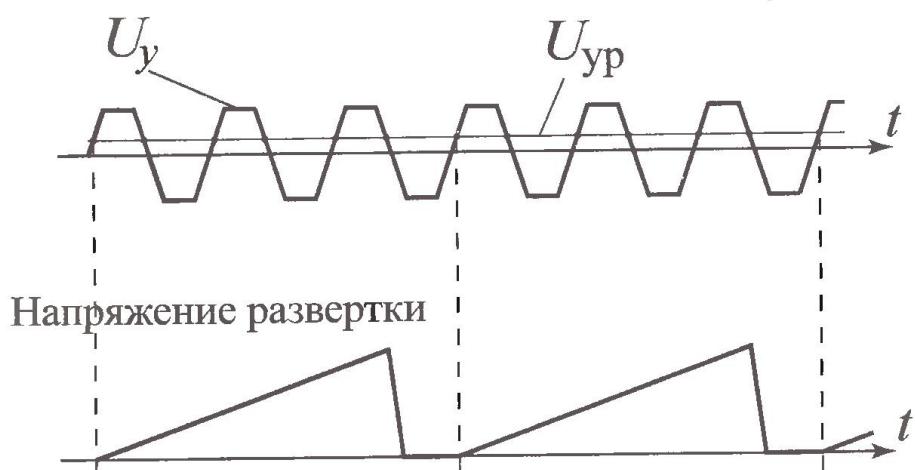


Рис. 3: Условие наблюдения устойчивой картины сигнала на экране осциллографа.

2 Выполнение работы.

2.1 Наблюдение периодического сигнала от генератора и измерение его частоты.

Необходимо получить на экране осциллографа устойчивую картину периодического (синусоидального) сигнала. После получения картины на экране осциллографа определить период и частоту сигнала, сравнить полученные результаты с показаниями частоты на звуковом генераторе.

Для получения стационарной картины используем ручки VOLTS/DIV и TIME/DIV, а также ручки POSITION и LEVEL. Получив устойчивую картину, проводим необходимые измерения. Результаты заносим в Таблицу 1.

f_{ist} , Гц	T, дел	TIME/DIV, мкс	T, мс	f, Гц	δf , Гц	$f_{ist} - f$, Гц
505	20	500	2	500	25	5
1008	25	200	1	1000	40	8
2004	25	100	0,5	2000	80	4
3002	35	50	0,35	2857	82	145
3099	33	50	0,33	3030	92	69
4006	25	50	0,25	4000	160	6
5003	20	50	0,2	5000	250	3

Таблица 1: Результаты измерения частоты входного сигнала.

Значение величин f , δf рассчитывается по следующим формулам:

$$f = \frac{1}{T}$$
$$\delta f = f \epsilon_T, \text{ где } \epsilon_{N_T} = \frac{\delta_{N_T}}{N_{T_{div}}} = \epsilon_T, \delta_{N_T} = 1$$

Анализируя полученный результат, отметим следующее:

- Измерение, проведенное для значения $f_{ist} = 3002$ Гц является ошибочным. В дальнейшем, данное измерение учитывать не будем из-за очень большого отклонения.
- Несмотря на довольно малые значения δf , следует отметить, что значение ϵ_f достаточно велико. Значения для различных частот занесены в таблицу 2.
- Хорошая точность обеспечивается при условии кратности измеряемой частоты величине, равной произведению $TIME/DIV * N_{div_T}$
- Данный метод позволяет добиться точности измерения частоты входящего сигнала 5% от значения измеряемой величины.

ϵ_f	0,05	0,04	0,04	0,03	0,03	0,04	0,05
$f, \text{ Гц}$	500	100	2000	2857	3030	4000	5000

Таблица 2: Значения относительной погрешности определения частоты для различных частот.

2.2 Измерение амплитуды сигнала.

С помощью вертикальной шкалы осциллографа проведем измерение амплитуды сигнала. Для этого установим значение частоты входного сигнала осциллографа 1 кГц, затем измерим отношение $\frac{U_{max}}{U_{min}}$, которые способен выдавать генератор. Изменение напряжение входного сигнала обеспечим с помощью кнопки ATT - 20dB, которая уменьшает амплитуду в 10 раз.

Формула, которая описывает происходящие изменения:

$$\beta_{21} = 20 \lg \frac{U_2}{U_1}$$

Проверим ее истинность: Измерим значения U_{max}, U_{min} , а также определим β_{21} . Полученный результат занесем в таблицу 3.

$U_{max}, \text{ В}$	$U_{min}, \text{ В}$	δU_{max}	δU_{min}	$\epsilon_{U_{max}}$	$\epsilon_{U_{min}}$	β_{teor}	β	ϵ_{beta}	$\delta\beta$
26	2,8	1	0,1	0,04	0,04	20	19,4	0,02	0,5

Таблица 3: Результаты измерения амплитуды входного сигнала.

Величина δ_{beta} вычисляется по формуле:

$$\delta_{beta} = \sqrt{\left(\frac{20}{U_{max} \ln 10}\right)^2 + \left(\frac{20}{U_{min} \ln 10}\right)^2}$$

Сравнивая полученное значение $\beta = 19,4 \pm 0,7$ с теоретически рассчитанным $\beta_{teor} = 20$, можно сказать, что теоретическое соотношение выполняется при заданной частоте входного сигнала.

2.3 Измерение амплитудно-частотной характеристики осциллографа.

Амплитудо-частотной характеристикой (АЧХ) измерительного прибора называют зависимость амплитуды измеряемого сигнала от частоты сигнала, подаваемого на вход. Проведем измерение АЧХ для двух состояний канала осциллографа во всем диапазоне частот.

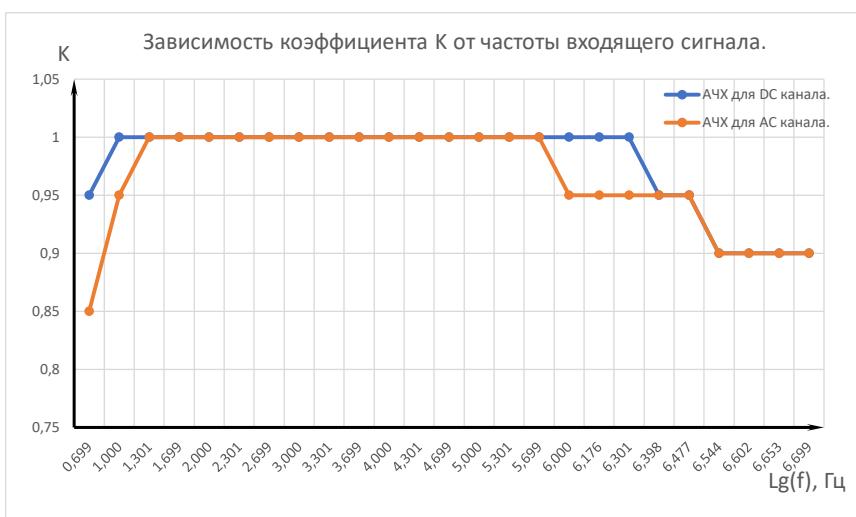
Формула, которая позволяет определить АЧХ:

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

Проведем измерения при $U_{0,DC} = 20$ дел, $U_{0,AC} = 20$ дел. Результаты занесем в таблицу 4. На основе полученных данных построим график.

$f, \text{ Гц}$	$\lg f$	$2U_{DC}, \text{ дел}$	$K_{DC} = \frac{U_{DC}}{U_0}$	$2U_{AC}, \text{ дел}$	$K_{AC} = \frac{U_{AC}}{U_0}$
5	0,699	19	0,95	17	0,85
10	1,000	20	1	19	0,95
20	1,301	20	1	20	1
50	1,699	20	1	20	1
10^2	2,000	20	1	20	1
$2 * 10^2$	2,301	20	1	20	1
$5 * 10^2$	2,699	20	1	20	1
10^3	3,000	20	1	20	1
$2 * 10^3$	3,301	20	1	20	1
$5 * 10^3$	3,699	20	1	20	1
10^4	4,000	20	1	20	1
$2 * 10^4$	4,301	20	1	20	1
$5 * 10^4$	4,699	20	1	20	1
10^5	5,000	20	1	20	1
$2 * 10^5$	5,301	20	1	20	1
$5 * 10^5$	5,699	20	1	20	1
10^6	6,000	20	1	19	0,95
$1,5 * 10^6$	6,176	20	1	19	0,95
$2 * 10^6$	6,301	20	1	19	0,95
$2,5 * 10^6$	6,398	19	0,95	19	0,95
$3 * 10^6$	6,477	19	0,95	19	0,95
$3,5 * 10^6$	6,544	18	0,9	18	0,9
$4 * 10^6$	6,602	18	0,9	18	0,9
$4,5 * 10^6$	6,653	18	0,9	18	0,9
$5 * 10^6$	6,699	18	0,9	18	0,9

Таблица 4: Значение К для различных частот для закрытого и открытого канала.



2.4 Изучение влияния АЧХ на искажение сигнала.

Проверим, каким образом АЧХ влияет на искажение прямоугольного сигнала, подаваемого на закрытый вход АС - меандра. Для этого получим устойчивую картину прямоугольного сигнала для частоты $f = 1$ кГц. Затем, изменения частоту входного сигнала получим картины меандров для различных частот.

Из-за искажения, вызванного АЧХ осциллографа, при достаточно больших частотах, вероятнее всего будет наблюдаться картина, изображенная на рисунке 4. Сигнал приобретает выбросы и всплески в первую очередь, из-за индуктивности монтажа. Кроме того, передний и задний фронты сигнала возникают не сразу, а имеют какое-то время нарастания и спада, из-за чего они наклонены относительно вертикальной линии. Этот наклон обусловлен частотными свойствами микросхем и транзисторов: чем более высокочастотный транзистор, тем менее завалены фронты импульсов.

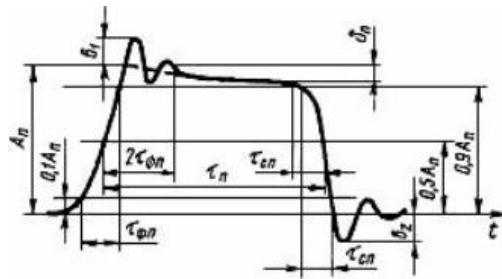


Рис. 4: Теоретическая картина сигнала меандра, искаженного осциллографом.

На рисунках 5 - 11 представлены картины сигналов для различных значений частоты.

По полученным картинам можно сказать, что наибольшее искажение происходит в диапазонах низких (≤ 100 Гц) и высоких (≥ 1 МГц) частот. Кроме того, полученные картины в достаточно большой степени похожи на картину, предсказанную теоретически (Рис. 4)

Опишем характер изменений:

Для низких частот (Рис. 5) сигнал превращается в некоторое семейство кривых, стремящихся к оси времени, и имеющих пик слева. Кривые довольно плавные, однако при повышении частоты стремление кривой к оси уменьшается, начинает формироваться ступень. Для частот порядка 500 Гц кривые практически полностью становятся отрезками прямых, имеющих незначительный наклон к оси времени. (Рис. 7).

Для средних частот картина довольно хорошо описывается теоретическими представлениями об искажении сигнала (Рис. 4).

Для высоких частот наблюдается сглаживание ломанной, ступенчатой кривой. Как видно на Рис. 11 для больших частот сигнал уже мало похож на ступенчатую ломанную.

2.5 Измерение разности фазово-частотных характеристик каналов осциллографа.

Проведем измерение разности фаз входящих сигналов. Для подготовки к измерениям выполним следующие действия:

- Подадим синусоидальный сигнал частотой $f = 1$ кГц с помощью тройника на каналы X и Y. Внутреннюю развертку включим в режим X-Y. В этом режиме отклонение луча на экране пропорционально подаваемым на каналы напряжениям

$$Y(t) = k_y U_y(t); \quad X(t) = k_x U_x(t);$$

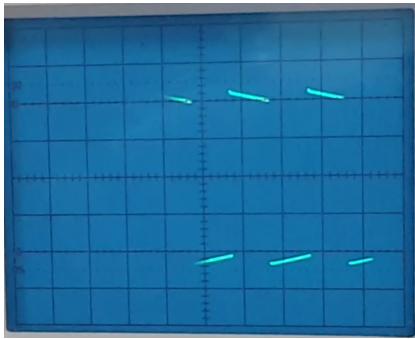


Рис. 5: 100 Гц.

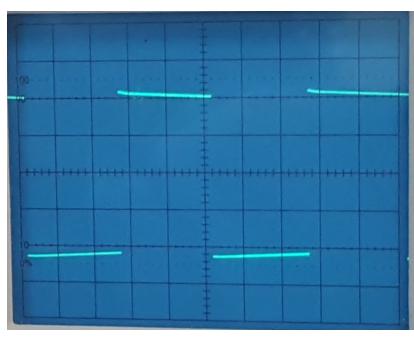


Рис. 6: 200 Гц.

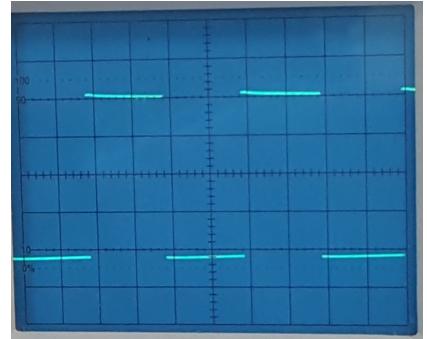


Рис. 7: 500 Гц.

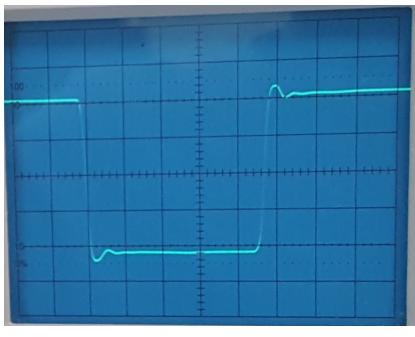


Рис. 8: 500 кГц.

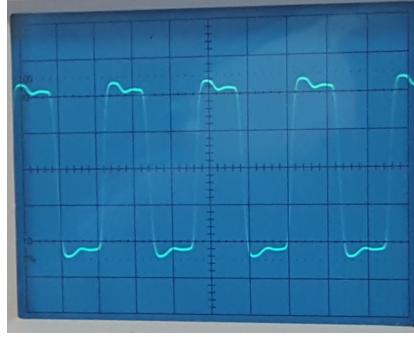


Рис. 9: 2 МГц.

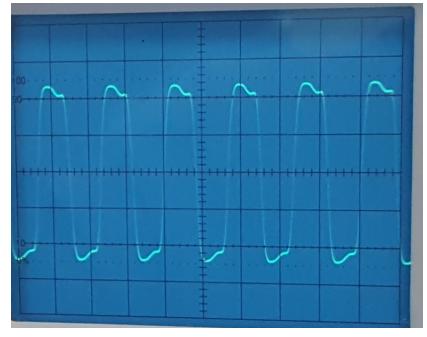


Рис. 10: 3 МГц.

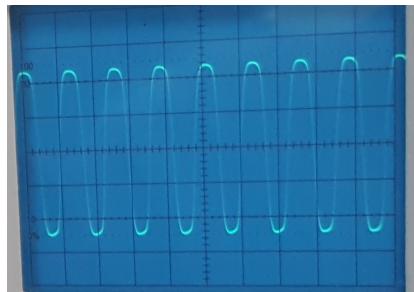


Рис. 11: 4 МГц.

где коэффициенты масштаба k_x , k_y определяются положениями ручек VOLTS/DIV.

2. Используя ручки VOLTS/DIV получим на экране вырожденный эллипс, направленный под углом 45° к оси X.
3. Изменяя частоту генератора f во всем доступном диапазоне найдем участки, на которых изображение на экране переходит из отрезка в невырожденный эллипс. На этих участках проведем подробное измерение разности фаз $\Delta\phi(f)$ между каналами X и Y в зависимости от частоты.

Траектория луча на экране представляет собой эллипс (Рис. 12), который можно описать уравнениями:

$$x(t) = A_x \sin(\omega t + \phi_x); \quad y(t) = A_y \sin(\omega t + \phi_y)$$

Разность фаз $\Delta\phi = \phi_x - \phi_y$ можно вычислить с помощью формулы:

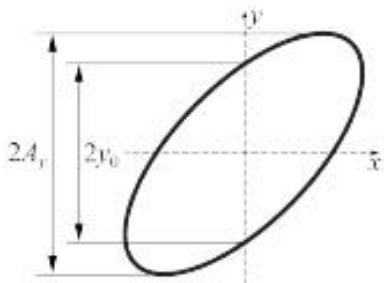


Рис. 12: Устойчивая картина невырожденного эллипса на экране осциллографа.

$f * 10^6$ Гц	$\lg f$	$ 2y_0 $, дел	$ 2A $, дел	$\arcsin \left \frac{y_0}{A} \right $, рад	$\Delta\phi$, рад
0,8	5,91	8	20	0,41	0,41
1,0	6,00	10	20	0,52	0,52
1,2	6,08	12	20	0,64	0,64
1,5	6,18	14	20	0,78	0,78
1,7	6,23	16	19	1,00	1,00
1,9	6,28	17	19	1,11	1,11
2,5	6,40	19	19	1,57	1,57
3,0	6,48	17	19	1,11	2,03
3,2	6,51	16	19	1,00	2,14
3,4	6,53	14	19	0,83	2,31
3,7	6,57	12	19	0,68	2,46
3,9	6,59	10	19	0,55	2,59
4,1	6,61	8	19	0,43	2,71
4,3	6,63	7	19	0,38	2,76
4,5	6,65	6	19	0,32	2,82
4,8	6,68	5	19	0,27	2,88
5,0	6,70	3	19	0,16	2,98

Таблица 5: Результаты измерения разности фаз сигналов для открытого канала.

$$\sin |\Delta\phi| = \left| \frac{y_0}{A} \right|$$

Тогда для определения $\Delta\phi$ получаем формулы:

$$\Delta\phi = \arcsin \left| \frac{y_0}{A} \right|$$

$$\Delta\phi = \pi - \arcsin \left| \frac{y_0}{A} \right|$$

4. Результаты измерений занесем в таблицы 5, 6. По результатам измерений построим график. (Рис. 13).

$f * 10^6$ Гц	$\lg f$	$ 2y_0 $, дел	$ 2A $, дел	$\arcsin \frac{y_0}{A}$, рад	$\Delta\phi$, рад
0,8	5,91	8	20	0,41	0,41
1,0	6,00	10	20	0,52	0,52
1,2	6,08	12	20	0,64	0,64
1,5	6,18	14	20	0,78	0,78
1,7	6,23	16	19	1,00	1,00
1,9	6,28	17	19	1,11	1,11
2,5	6,40	19	19	1,57	1,57
3,0	6,48	17	19	1,11	2,03
3,2	6,51	16	19	1,00	2,14
3,4	6,53	14	19	0,83	2,31
3,7	6,57	12	19	0,68	2,46
3,9	6,59	10	19	0,55	2,59
4,1	6,61	8	19	0,43	2,71
4,3	6,63	7	19	0,38	2,76
4,5	6,65	6	19	0,32	2,82
4,8	6,68	5	19	0,27	2,88
5,0	6,70	3	19	0,16	2,98

Таблица 6: Результаты измерения разности фаз сигналов для закрытого канала.

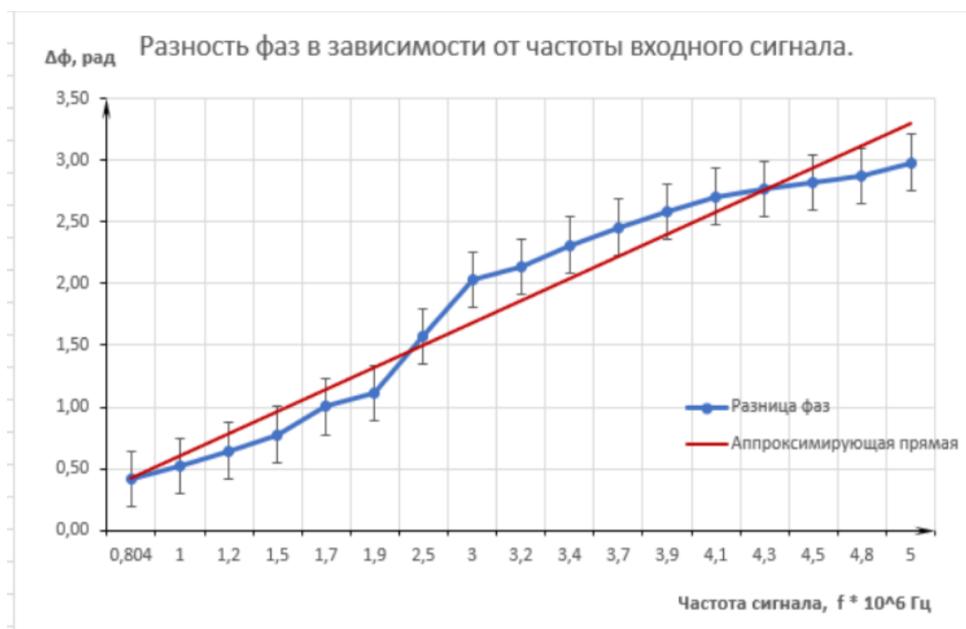


Рис. 13: График зависимости разности фаз входящих сигналов в зависимости от частоты.

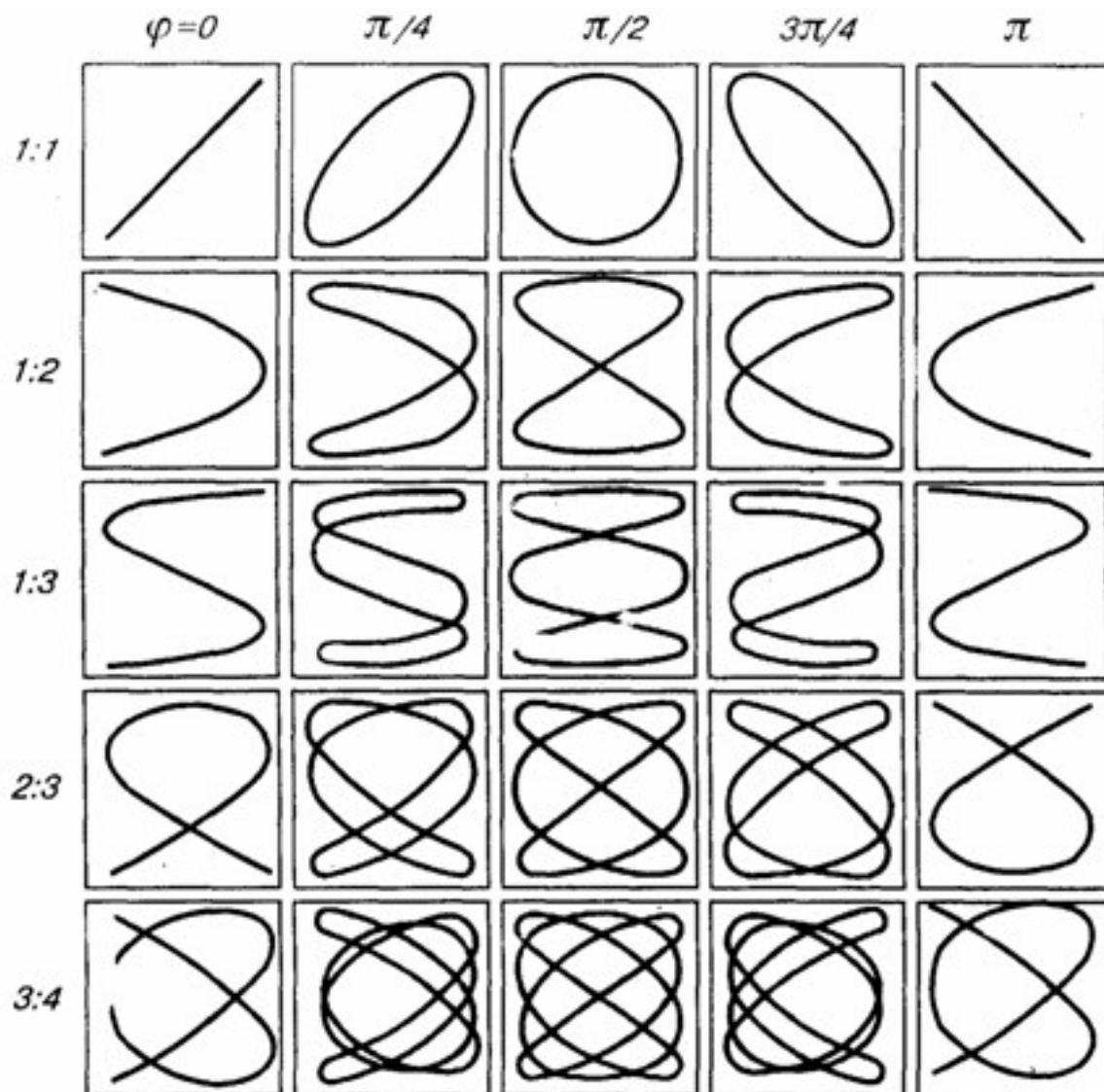


Рис. 14: Вид фигур Лиссажу для некоторых соотношений частот и заданной разности фаз входных сигналов

2.6 Наблюдение фигур Лиссажу.

Для наблюдения фигур Лиссажу необходимо подать на 2 входа осциллографа 2 сигнала различной частоты (Для наблюдения фигур необходимо, чтобы частоты сигналов были соотносились как целые числа).

После получения устойчивой картины фигуры Лиссажу, с помощью изображения можно определить соотношение частот входных сигналов. Для определения соотношения необходимо провести 2 произвольные линии, параллельные осям и не пересекающие фигуру в узловых точках, затем посчитать количество точек пересечения данных прямых с фигурой. отношение чисел точек пересечения – есть искомое соотношение между частотами.

на рисунке 14 представлены некоторые фигуры, которые можно получить при заданных соотношениях частот и разности фаз входящих сигналов.

3 Результаты.

1. Во время проведения данной работы был изучен электронный осциллограф – строение и принцип его действия.
2. При помощи осциллографа был исследован периодический сигнал, был определен период исследуемого сигнала с приемлемой точностью, (Максимальная относительная погрешность измерения равна 5%).
3. При помощи осциллографа была измерена амплитуда входящего сигнала, была проверена теоретическая формула интенсивности сигнала. Сравнивая полученное значение $\beta = 19,4 \pm 0,7$ с теоретически рассчитанным $\beta_{teor} = 20$, можно сказать, что теоретическое соотношение выполняется при заданной частоте входного сигнала.
4. Для данной модели осциллографа была определена зависимость АЧХ от частоты входного сигнала. Было проанализировано влияние данной зависимости на искажение сигнала.
5. Было проведено измерение разности фазово-частотных характеристик каналов осциллографа. Анализ результатов показал, что разность ФЧХ между каналами осциллографа отсутствует на частотах $< 10^5$ Гц. (ФЧХ идентична для двух каналов осциллографа.)
6. При помощи осциллографа были получены изображения фигур Лиссажу. На практике были подтверждены методы определения соотношения между частотами сигналов, образующих фигуры Лиссажу.