

Работу выполнил  
Просвирин Кирилл, 712 гр.

8 сентября 2017  
15 сентября 2017

## Лабораторная работа № 1.1.6

### Изучение электронного осциллографа

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

**В работе используется:** осциллограф, генераторы электрических сигналов, соединительные кабели.

## 1 Подготовка к работе

Включим осциллограф в сеть. Ручку развертки поставим в положение  $X - Y$ . Осциллограф будет показывать точку. Расположим ее в центре экрана осциллографа. Настроим яркость и четкость для комфортной работы.

## 2 Наблюдение периодического сигнала от генератора и измерение частоты

Получим на экране осциллографа устойчивую картину периодического (синусоидального) сигнала, подаваемого с генератора, и с помощью горизонтальной шкалы экрана осциллографа проведем серию измерений и сравним измеренный по шкале осциллографа период колебаний с расчетным (по показанием звукового генератора).

$f_{зг}, 10\text{Гц}$	$T, \text{дел}$	$\text{мс/дел}$	$T, \text{мс}$	$f, 10\text{Гц}$	$\delta f, 10\text{Гц}$	$f - f_{зг}, 10\text{Гц}$
50	4.2	0.5	2.1	48	2.3	-2
60	3.4	0.5	1.7	59	3.5	-1
70	3	0.5	1.5	67	4.5	-3
90	5.6	0.2	1.12	89	3.2	-1
110	4.6	0.2	0.92	109	4.8	-1

Таблица 1: Частоты, измеренные частотомером генератора и осциллографом

Оценим погрешность измерения  $\delta f$  по формуле для погрешности косвенных измерений:

$$\delta f = \left| \frac{df}{dT} \right| \cdot \delta T = \frac{\delta T}{T^2} = f^2 \delta T$$

Погрешность  $\delta T$  оценим из следующих соображений. Наблюдаемая на экране осциллографа синусоида имеет некоторую толщину. Это мешает точному измерению длины периода (т.е. границы размыты). Поэтому разумно принять  $\delta T$  равной цене деления шкалы (имеются ввиду малые деления на экране осциллографа по 0.2 см).

### 3 Измерения амплитуды сигнала

С помощью вертикальной шкалы экрана осциллографа измерим отношение максимальной и минимальной амплитуд напряжений  $U_{max}/U_{min}$ . Измерения будем проводить на частоте  $f = 1$  кГц. Для этого достаточно измерить амплитуду синусоиды с учетом масштаба вертикальной оси. Данные занесем в таблицу 2.

Погрешность  $\delta U$  оценим из тех же соображений, что и в пункте 2. Т.е. примем равной цене малых делений на экране осциллографа. Погрешность косвенного измерения величины  $k = U_{max}/U_{min}$  определим по формуле:

$$\delta k = k \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta U_{max}}{U_{max}}\right)^2 + \left(\frac{\delta U_{min}}{U_{min}}\right)^2}$$

	$U$ , дел	В/дел	$U$ , В	$\delta U/U$
$U_{min}$	5.5	0.2	1.1	0.04
$U_{max}$	2	5	10	0.1
$k = U_{max}/U_{min} \approx (9.1 \pm 0.1)$				

Таблица 2: Значения максимальной и минимальной амплитуд

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

$$\beta [\text{дБ}] = 10 \lg \frac{U_{max}^2}{U_{min}^2} = 20 \lg \frac{U_{max}}{U_{min}}$$

Погрешность косвенного измерения:

$$\delta \beta = \left| \frac{\delta \beta}{\delta k} \right| \delta k = \frac{20 \cdot \delta k}{k \ln 10}$$

Таким образом отношение  $\beta$  будет следующим:

$$\beta = (44.2 \pm 0.1) \text{ дБ}$$

### 4 Измерение амплитудно-частотной характеристики осциллографа

Подберем масштаб вертикальной оси и амплитуду таким образом, чтобы размах значений на экране составил  $2U_0 = 30$  малых делений (или 6 больших делений). При этом амплитуду поставим близкой к максимальной. Получим зависимость амплитуды, которую показывает осциллограф, от частоты колебаний напряжения. Для этого будем изменять частоту во всем диапазоне, а амплитуду и масштаб оставим неизменными. Данные измерений, проведенных с использованием открытого ( $DC$ ) и закрытого ( $AC$ ) входа, занесены в таблицу 3.

Видно, что значение  $K_{DC}$  равно 1 во всем диапазоне используемых частот, а значение  $K_{AC}$  ощутимо изменяется. Это связано с тем, что при использовании режима закрытого входа последовательно с генератором и осциллографом включается дополнительный конденсатор. При больших частотах напряжение на конденсаторе будет близко к нулю, и его

можно рассматривать как идеальный проводник. Если же частота колебаний напряжения мала, то конденсатор будет успевать значительно заряжаться и, соответственно, влиять на показания.

Начиная с  $f \approx 13$  Гц амплитуда вообще перестает изменяться. Имеет смысл проверить, что она сохраняется для всего оставшегося диапазона. При этом конкретные значения частот не так важны, поэтому в таблице они записаны сокращенно, как  $10^3$ ,  $10^4$  и т. д.

$f$ Гц	$\lg f$	$2U_{AC}$ , дел	$K_{AC} = U_{AC}/U_0$	$2U_{BC}$ , дел	$K_{DC} = U_{DC}/U_0$
0.7	-0.155	0.4	0.10	4	1.0
1.2	0.079	1.4	0.35	4	1.0
2	0.301	2.1	0.53	4	1.0
4.6	0.662	3.1	0.78	4	1.0
10	1	3.9	0.98	4	1.0
13	1.11	4	1.0	4	1.0
$10^2$	2	4	1.0	4	1.0
$10^3$	3	4	1.0	4	1.0
$10^4$	4	4	1.0	4	1.0
$10^5$	5	4	1.0	4	1.0
$10^6$	6	4	1.0	4	1.0

Таблица 3: Измерения амплитудно-частотной характеристики

Оценим погрешность измерения  $K = \frac{U}{U_0}$ :

$$\delta K = \frac{\delta U}{U_0}$$

Нанесем экспериментальные точки на координатную плоскость  $K_{AC}(\lg f)$  при малых частотах (рисунок 1). Изменение величины  $K_{DC}$  не удалось обнаружить, поэтому бессмысленно строить график для него (он совпадет с прямой, все точки которой имеют ординату 1).

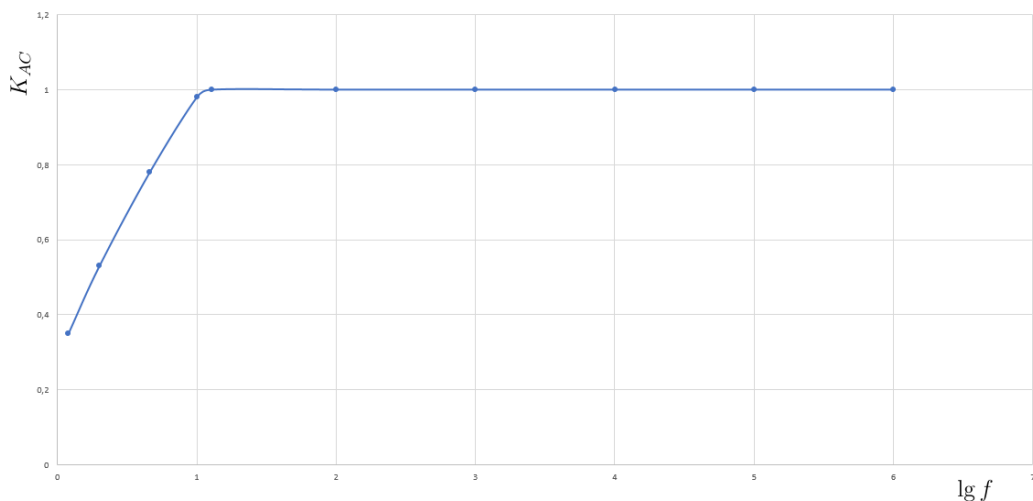


Рис. 1: Экспериментальные точки измерения амплитуды и график зависимости

## 5 Изучение влияния АЧХ на искажение сигнала

Установим на генераторе переключатель вида сигнала в положении прямоугольные импульсы (*меандр*). Изменяя частоту генератора во всем диапазоне, наблюдаем, как меняется вид отображаемого сигнала.

Меандр или прямоугольный сигнал на самом деле, с точки зрения осциллографа, является суммой бесконечного количества синусоид с частотами  $\nu$ ,  $2\nu$ ,  $3\nu$  и т.д. Понятно, что осциллограф работает с конечно частотой, причем по скольку сигнал достаточно высокочастотный, то осциллограф, на самом деле, переваривает только первые несколько членов такого разложения. Поэтому наблюдается не меандр, а сумма первых нескольких членов его разложения в ряд Фурье.

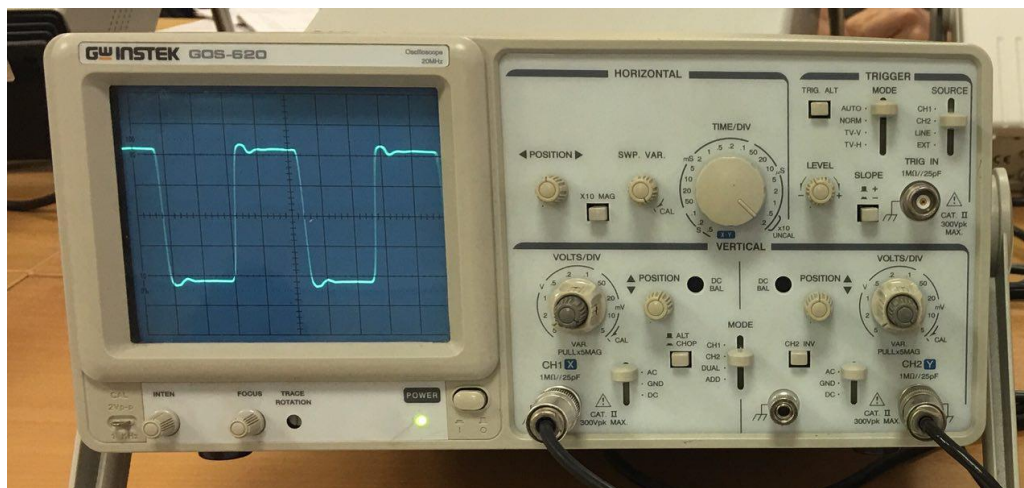


Рис. 2: Меандр

## 6 Измерение разности фазово-частотных характеристик каналов осциллографа

Выключим внутреннюю развертку осциллографа. С помощью генератора будем подавать синусоидальный сигнал частоты около 1 кГц на входы каналов  $X$  и  $Y$ .

Каналы  $X$  и  $Y$  обслуживаются разными электронными схемами. Это приводит к разности фаз, которую можно наблюдать на экране.

Пусть  $x = A_x \sin(\omega t + \varphi_x)$ ;  $y = A_y \sin(\omega t + \varphi_y)$ ;  $\Delta\varphi = \varphi_y - \varphi_x$

Рассмотрим момент времени  $t_0$ , такой, что  $x(t_0) = 0$ . Тогда  $\omega t_0 + \varphi_x = \pi k$  (где  $k \in \mathbb{Z}$ )

$y(t_0) = A_y \sin(\pi k + \Delta\varphi) \Rightarrow |y(t_0)| = A_y |\sin \Delta\varphi|$ . Можем записать формулу для определения  $\Delta\varphi$ :

$$|\sin \Delta\varphi| = \frac{|y(t_0)|}{A_y}$$

Из условия  $x(t_0) = 0$  следует, что  $y(t_0)$  — координата точки пересечения наблюдаемой фигуры с вертикальной осью. Обозначим  $y(t_0) = y_0$ .

Проведем измерения величины  $y_0$  и  $A_y$  для частот из всего доступного диапазона. Результаты занесем в таблицу 4.

$f, \text{ Гц}$	$2.76 \cdot 10^5$	$5.01 \cdot 10^5$	$5.28 \cdot 10^6$	$4.02 \cdot 10^6$	$3.05 \cdot 10^6$	$2.04 \cdot 10^6$
$\lg f$	5.4	5.7	6.48	6.31	6.72	6.72
$ 2y_0 , \text{ В}$	0.6	1	3.8	3.5	0.9	2.2
$ 2A_y , \text{ В}$	4	4	3.8	3.9	4	4
$ \Delta\varphi  = \arcsin  y_0/A_y $	0.15	0.25	1.57	1.11	0.23	0.58

Таблица 4: Измерение фазово-частотной характеристики

При  $f = 3 \cdot 10^6$  Гц на экране возникает окружность. Разность фаз  $\Delta\varphi = \pi/2$ . По первым четырем точкам можно построить приближенную экспоненциальную функцию.

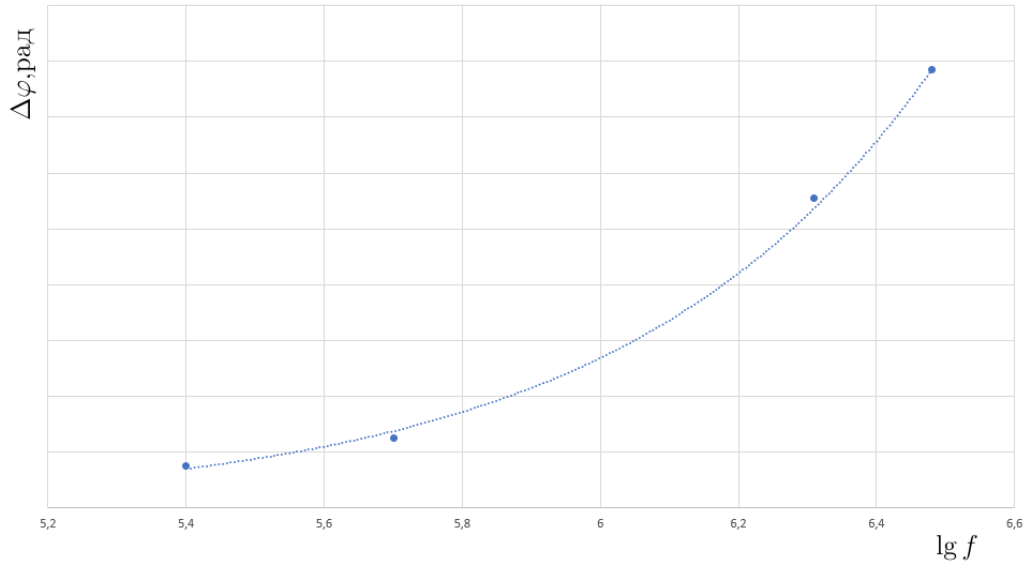


Рис. 3: Экспериментальные точки измерения разности фаз и график зависимости

## 7 Наблюдение фигур Лиссажу и измерение частоты

Выключим внутреннюю развертку осциллографа. На входы каналов  $X$  и  $Y$  подадим сигналы с двух разных генераторов. Изменение параметров генератора позволяет менять отношение частот  $f_y/f_x$  напряжений на канале  $X$  и на канале  $Y$ . Исследуем отношения частот 1:2, 2:1, 3:1, 3:2. Вид полученных фигур показан на рисунке 4. Эти кривые получены математическими методами, однако они полностью соответствуют тем фигурам, которые были получены в эксперименте (рисунок 5).

$Y$  — координата обращается в ноль чаще, чем  $X$  координата, в  $f_y/f_x$  раз. Следовательно, для определения отношения  $f_y/f_x$  достаточно посчитать количество пересечений с горизонтальной осью ( $n_x$ ) и с вертикальной осью ( $n_y$ ). Тогда  $f_y/f_x = n_x/n_y$ . На приведенных рисунках некоторые точки совпадают, и это нужно учитывать (дважды считать наложенные точки).

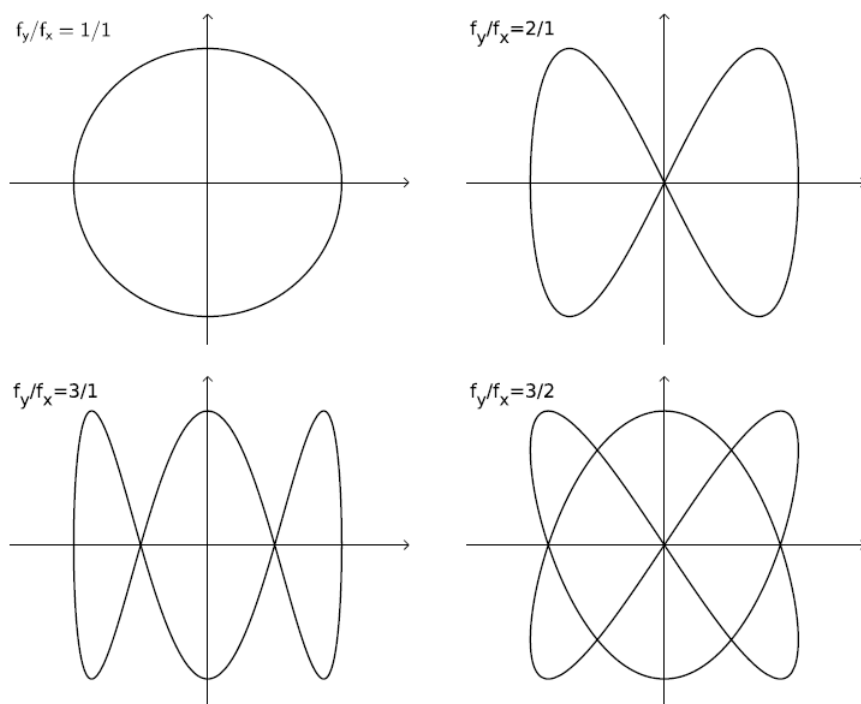


Рис. 4: Фигуры Лиссажу для некоторых отношений частот (рисунки)

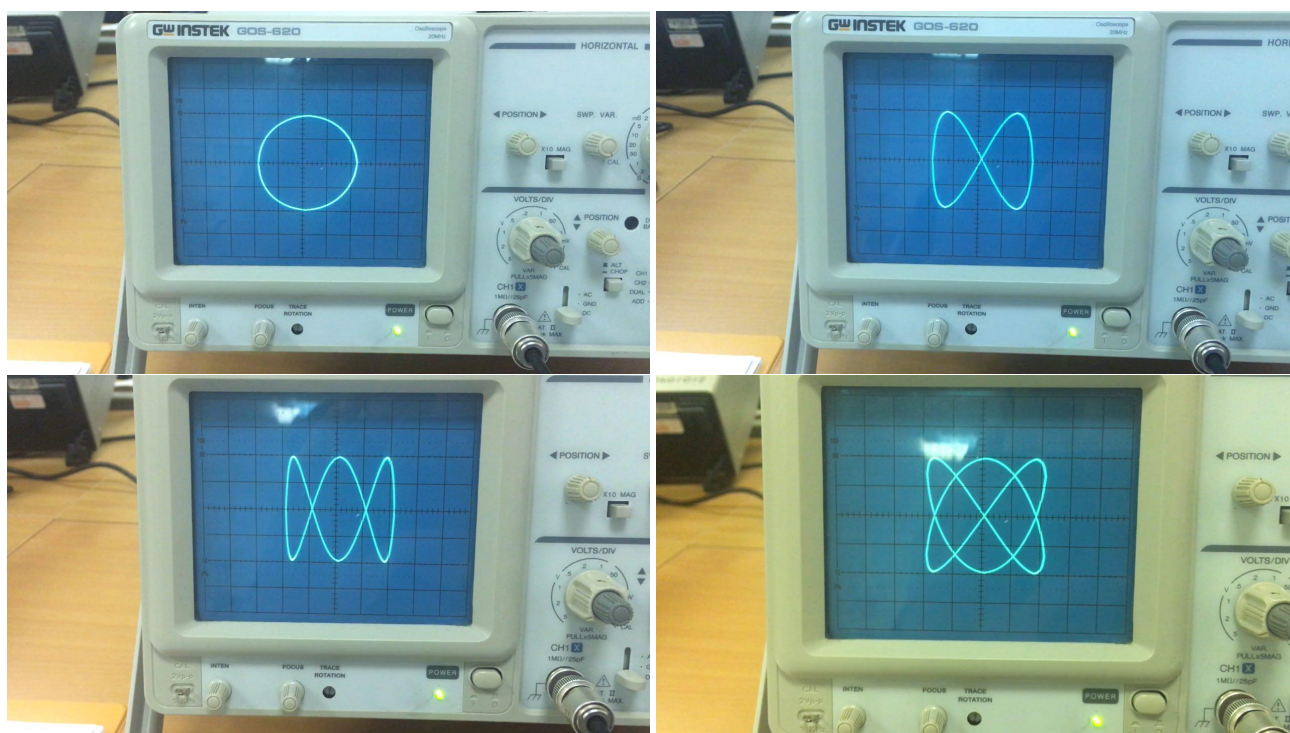


Рис. 5: Фигуры Лиссажу для некоторых отношений частот (фотографии)