

ННГУ им. Н. И. Лобачевского, ВШОПФ
Лабораторная работа "Осциллограф"

Цели работы:

1. Изучить принцип работы осциллографа и его устройство.
2. Определить чувствительность электронно-лучевой трубки.
3. Получить осциллограммы при различном соотношении частот сигнала и развёртки.
4. Исследовать частотные свойства вертикального усилителя и оценить его линейность.
5. Получить фигуры Лиссажу при различной величине n отношения частоты входного сигнала к частоте контрольного сигнала, где $n = \{1, 2, 3, 4\}$.

Приборы и оборудование: осциллограф типа CI-I (ЭО-7); генератор низкочастотных сигналов ГЗ-109 (класс точности 2,5).

Теоретическая часть

1. Контрольный вопрос

Над электронами, вылетевшими с катода, под действием ускоряющего поля совершается работа:

$$A = U_{\text{уск.}} \cdot e = \frac{m_e V_0^2}{2}$$

отсюда найдём продольную, относительно трубки, скорость:

$$V_0^2 = \frac{2 U_{\text{уск.}} \cdot e}{m_e}$$

К вертикальным пластинам ЭЛТ прикладывается исследуемое напряжение, которое создает поле с напряжённостью:

$$E = \frac{U_{\text{иссл.}}}{d}$$

Электрическое поле воздействует на пролетающие между пластинами электроны и по второму закону Ньютона придаёт им ускорение:

$$a_y = E \frac{e}{m_e} = \frac{U_{\text{иссл.}} \cdot e}{d m_e}$$

Под воздействием отклоняющего поля, за время пролёта мимо пластин, электроны приобретают скорость:

$$V_1 = a_y \cdot \tau = \frac{E e l}{m_e V_0} = \frac{U_{\text{иссл.}} \cdot e l}{m_e V_0 d}$$

Считая, что на пути от пластин до экрана скорость электрона постоянная, получаем смещение:

$$h = V_1 \cdot \tau_1 = \frac{U_{исл.} e l L}{m_e V_0^2 d} = \frac{1}{2} \cdot \frac{L l}{U_{уск.} d} \cdot U_{исл.}$$

Отсюда:

$$\chi = \frac{h}{U_{откл.}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{L l}{U_{уск.} d}$$

2. Синхронизация.

Для получения неподвижной осциллограммы должно выполняться условие $mT_p = nT_u$, где m и n – целые числа.

Практическая часть

1. Определение чувствительности вертикального и горизонтального каналов осциллографа:

Для измерения чувствительности вертикального и горизонтального каналов, была получена зависимость отклонения луча от напряжения при ослаблении 1:1 и частоте генератора 1000 Гц.

$$\chi = \frac{h}{2\sqrt{2}U}$$

Y-канал Усиление по X-min, по Y-max	U, В	0,009	0,012	0,015	Максимальное значение шкалы, В
	h, мм	28	36	46	
	χ , мм/В	1099	1060	1084	
	χ среднее, мм/В	1081,00			0,15
X-канал Усиление по Y-min, по X-max	U, В	0,9	1,2	1,5	Максимальное значение шкалы, В
	h, мм	48	65	81	
	χ , мм/В	18,86	19,15	19,09	
	χ среднее, мм/В	19,03			1,5

Класс точности вольтметра – 2,5

Погрешность измерений:

$$\Delta U = \frac{h}{100} U_{max}$$

Погрешность сетки: $\Delta h = 1 \text{ мм}$ – половина цены деления

Погрешность косвенных измерений:

$$\Delta \chi = \left(\frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta U}{U} \right) \chi$$

Для вертикального канала:

$$\Delta U = \frac{2,5}{100} \times 15 \times 10^{-2} \text{ В} = 3,75 \times 10^{-3} \text{ В}$$

$$\Delta \chi_{Y1} = \left(\frac{1}{28} + \frac{3,75 \times 10^{-4}}{9 \times 10^{-3}} \right) \times 1099 \approx 85,04 \frac{\text{мм}}{\text{В}}$$

$$\Delta \chi_{Y2} = \left(\frac{1}{36} + \frac{3,75 \times 10^{-4}}{12 \times 10^{-3}} \right) \times 1060 \approx 62,57 \frac{\text{мм}}{\text{В}}$$

$$\Delta \chi_{Y3} = \left(\frac{1}{46} + \frac{3,75 \times 10^{-4}}{15 \times 10^{-3}} \right) \times 1084 \approx 50,66 \frac{\text{мм}}{\text{В}}$$

$$\Delta \chi_Y = \frac{\Delta \chi_{Y1} + \Delta \chi_{Y2} + \Delta \chi_{Y3}}{3} = \frac{85,04 + 62,57 + 50,66}{3} = 66,09 \frac{\text{мм}}{\text{В}}$$

$$\chi_Y = (1081,00 \pm 66,09) \frac{\text{мм}}{\text{В}}$$

Для горизонтального канала:

$$\Delta U = \frac{2,5}{100} \times 1,5 \text{ В} = 3,75 \times 10^{-2} \text{ В}$$

$$\Delta \chi_{X1} = \left(\frac{1}{48} + \frac{3,75 \times 10^{-2}}{0,9} \right) \times 18,86 \approx 1,17 \frac{\text{мм}}{\text{В}}$$

$$\Delta \chi_{X2} = \left(\frac{1}{65} + \frac{3,75 \times 10^{-2}}{1,2} \right) \times 19,15 \approx 0,89 \frac{\text{мм}}{\text{В}}$$

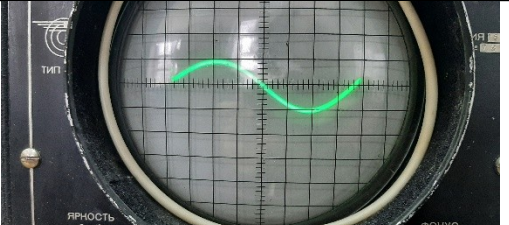
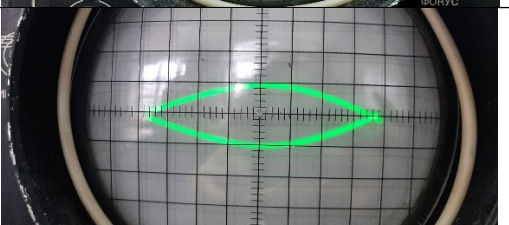
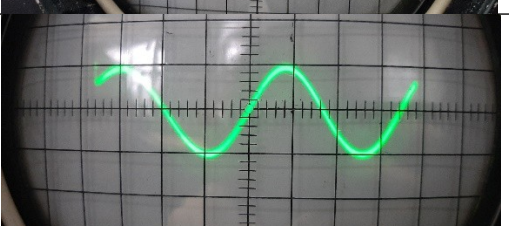
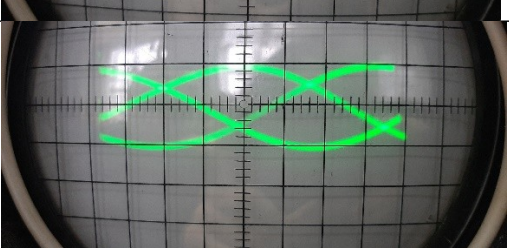
$$\Delta \chi_{X3} = \left(\frac{1}{81} + \frac{3,75 \times 10^{-2}}{1,5} \right) \times 19,09 \approx 0,71 \frac{\text{мм}}{\text{В}}$$

$$\Delta \chi_X = \frac{\Delta \chi_{X1} + \Delta \chi_{X2} + \Delta \chi_{X3}}{3} = \frac{1,17 + 0,89 + 0,71}{3} = 0,92 \frac{\text{мм}}{\text{В}}$$

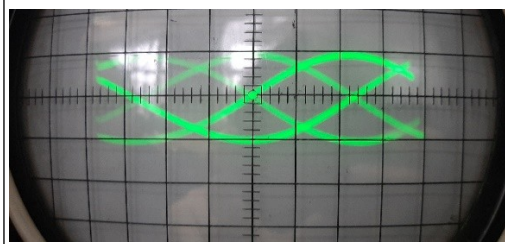
$$\chi_X = (19,03 \pm 0,92) \frac{\text{мм}}{\text{В}}$$

2. Изучение работы развертки:

Получение осциллограммы напряжения с генератора при $nf_p = mf_c$:

1) $\frac{m}{n} = 1, f_p = 120 \text{ Гц}, f_c = 120 \text{ Гц}$	
2) $\frac{m}{n} = \frac{1}{2}, f_p = 120 \text{ Гц}, f_c = 60 \text{ Гц}$	
3) $\frac{m}{n} = 2, f_p = 120 \text{ Гц}, f_c = 240 \text{ Гц}$	
4) $\frac{m}{n} = \frac{2}{3}, f_p = 120 \text{ Гц}, f_c = 90 \text{ Гц}$	

$$5) \frac{m}{n} = \frac{3}{4}, f_p = 120 \text{ Гц}, f_c = 80 \text{ Гц}$$



3. Наблюдение срыва синхронизации при изменении частоты генератора:

n/m	Амплитуда синхронизации	$-\Delta f$, Гц	$+\Delta f$, Гц	Δf_{cp} , Гц
1	2	2	9	5,5
	9	20	20	20
1/2	2	1	1	1
	9	2	1	1,5
2	2	20	13	16,5
	9	40	30	35

При включённой синхронизации, если

$nf_p \geq mf_c$ – картинка бежит влево;

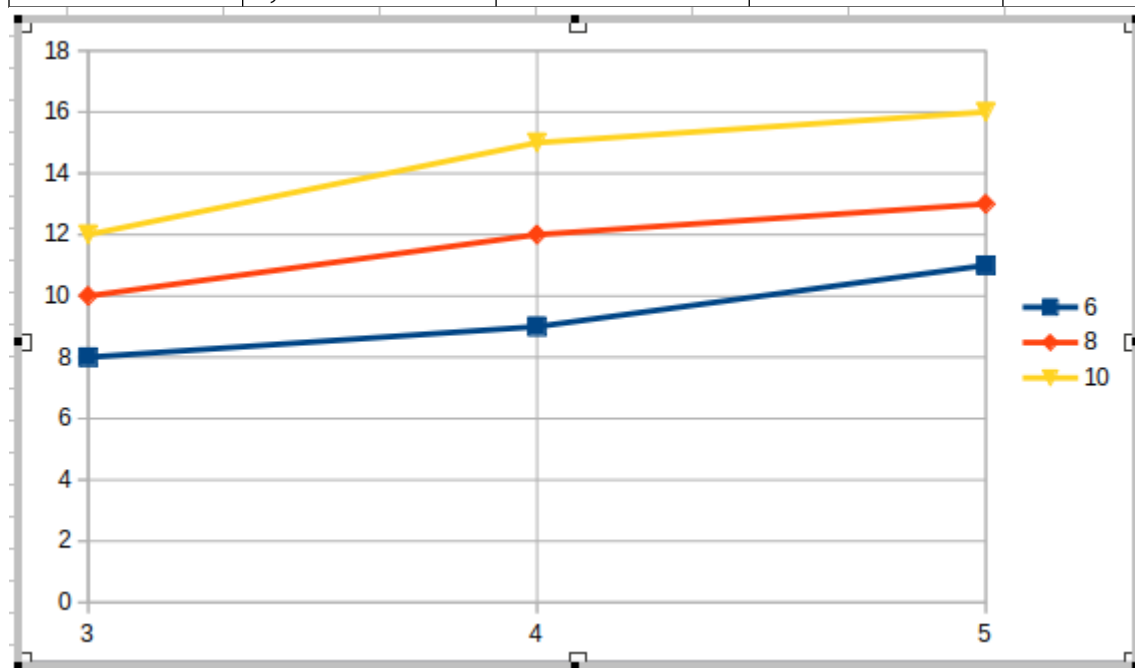
$nf_p \leq mf_c$ – картинка бежит вправо.

4. Оценка послесвечения трубки:

$$f = 83 \text{ Гц}, \tau = \frac{1}{83} = 0,012 \text{ (с)}$$

5. Оценка линейности вертикального канала усиления:

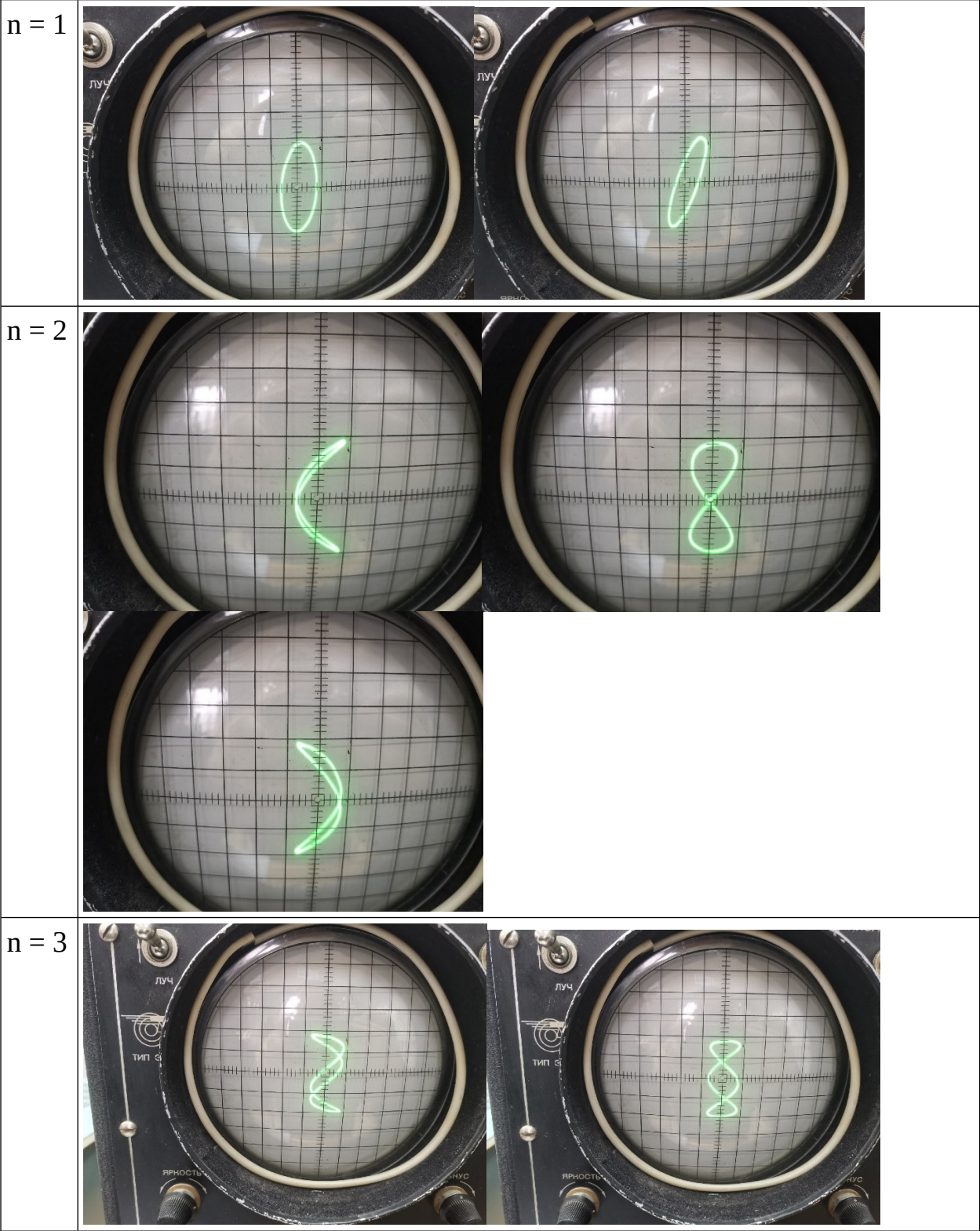
Усиление				
6	U, В	3	4	5
	h, мм	8	10	12
8	U, В	3	4	5
	h, мм	9	12	15
10	U, В	3	4	5
	h, мм	11	13	16

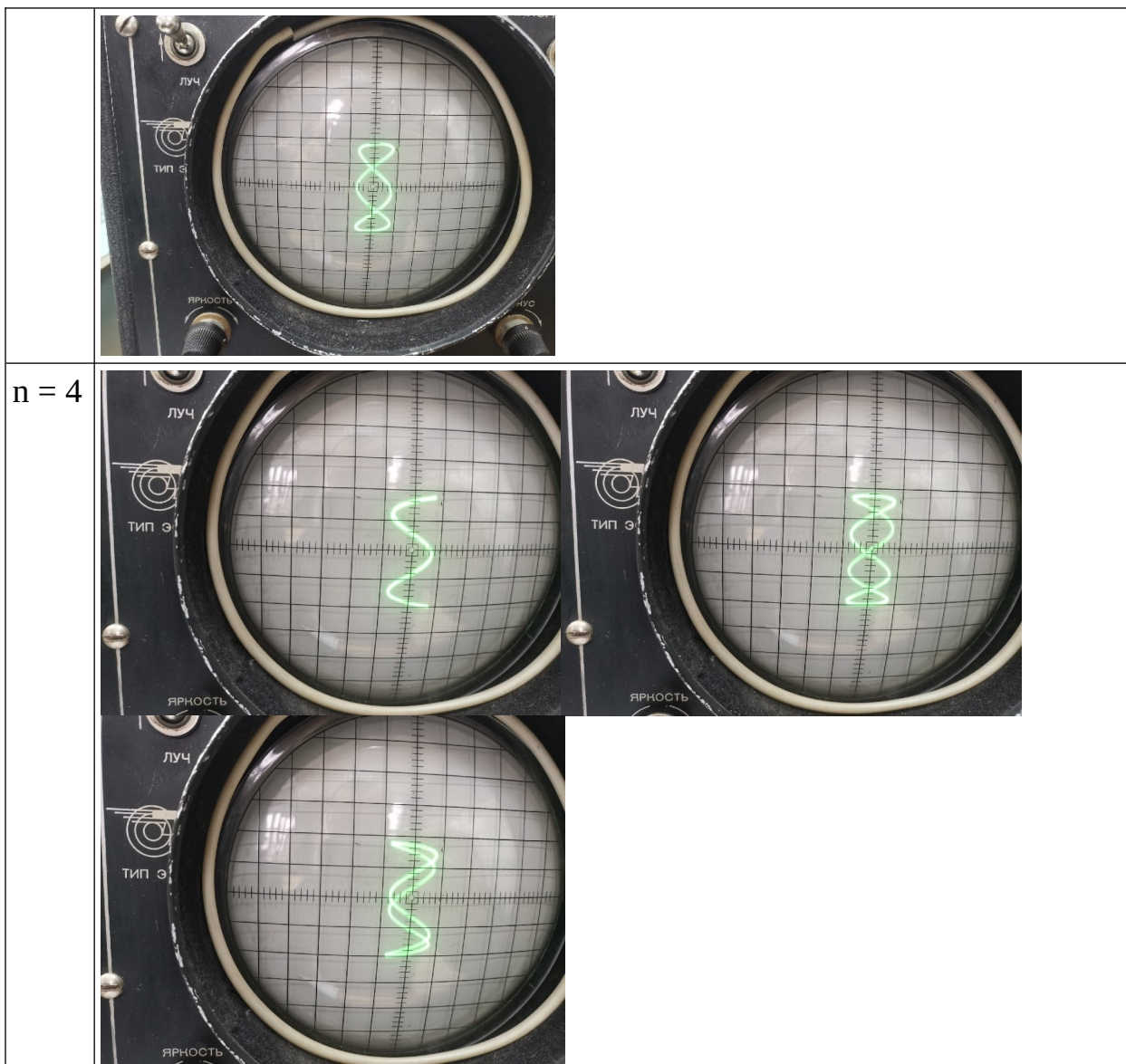


6. Оценка частотных свойств вертикального усилителя ($U = \text{const}$)

f, Гц	1×10^2	2×10^2	1×10^3	2×10^2	1×10^4	2×10^2	1×10^5	2×10^2
h, мм	27	26	27	27	20	14	5	3

Фигуры Лиссажу





Вывод

- Было изучено устройство осциллографа и принцип его работы
- Была установлена чувствительность вертикального и горизонтального каналов
- Были получены осциллограммы напряжений при $n f_p = m f_c$
- Было установлено время послесвечения трубки: $\tau = 0,012 \text{ c}$
- Были получены фигуры Лиссажу