

$$C = \frac{q}{U} \rightarrow U = \frac{q}{C}$$

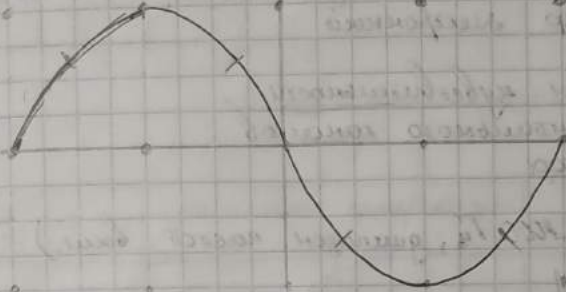
Задача 5.

$$\frac{U}{m} = \frac{f_e}{f_p}$$

$$1) \frac{f_e}{f_p} = 1 = \frac{T_p}{T_e} \Rightarrow T_p = T_e$$

120 Гц  
120 Гц

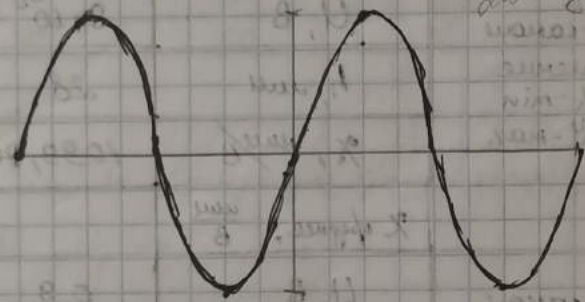
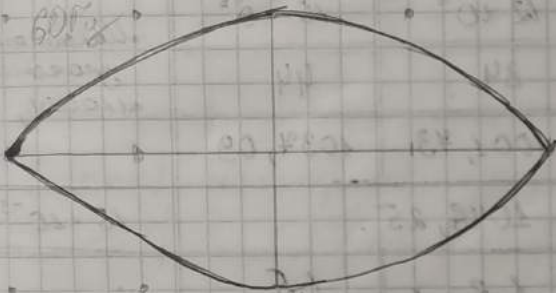
$$f_e = \frac{U}{m} f_p$$



$$2) \frac{f_e}{f_p} = \frac{1}{2} = \frac{T_p}{T_e} \Rightarrow T_p = \frac{1}{2} T_e$$

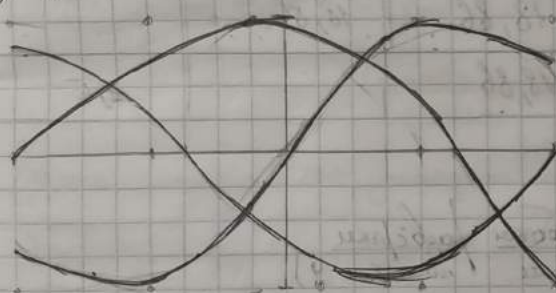
$$3) \frac{f_e}{f_p} = 2 = \frac{T_p}{T_e} \Rightarrow T_p = 2 T_e$$

240 Гц

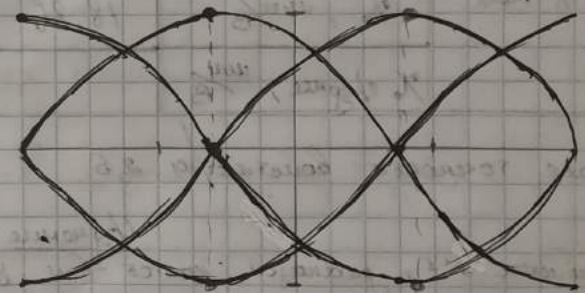


$$4) \frac{f_e}{f_p} = \frac{2}{3} = \frac{T_p}{T_e} \Rightarrow T_p = \frac{2}{3} T_e = \frac{4}{6} T_e$$

$$5) \frac{f_e}{f_p} = \frac{3}{4} = \frac{T_p}{T_e} \Rightarrow T_p = \frac{3}{4} T_e$$



80 Гц



90 Гц

$$m f_e - n f_p = \Delta f$$

число оборотов



# Осциллограф.

Протокол  
лабораторная работа № 17.  
Осциллограф.

Приборы и оборудование: генератор сигналов низкочастотный ГЗ-109,  
осциллограф электронный.

Определение величины чувствительности  
вертикального и горизонтального каналов  
осциллографа

(осциллограмма 1:1, частота генератора 1000 Гц, диапазон частот выкл.)

$$\% = \frac{h}{252 U}$$

У-канал уменьшение по X-min по Y-max	U, В	$9 \cdot 10^{-3}$	$12 \cdot 10^{-3}$	$15 \cdot 10^{-3}$	Максимальное значение шкалы, В
	h, мм	28	34	44	
	%, мм/В	1099,94	1001,43	1034,09	
	Х среднее, $\frac{\text{мм}}{\text{В}}$	1046,25			
Х-канал уменьшение по Y-min по X-max	U, В	0,9	1,2	1,5	Максимальное значение шкалы, В
	h, мм	48	64	80	
	%, мм/В	18,86	18,86	18,86	
	Х среднее, $\frac{\text{мм}}{\text{В}}$	18,86			
					1,5

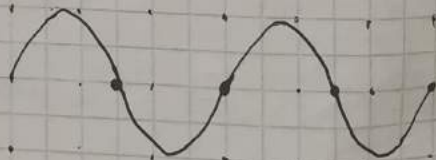
класс точности вольтметра 2,5

Изучение работы развёртки  
(осциллограмма 1:1, диапазон частот - выкл, уменьшение по X и Y)

$$f_{\text{развёртки}} = 120 \text{ Гц}$$

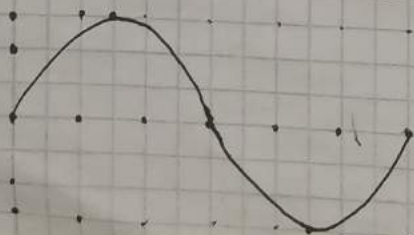
$$\frac{n}{m} = 2$$

$$f_{\text{сигн}} = 240 \text{ Гц}$$



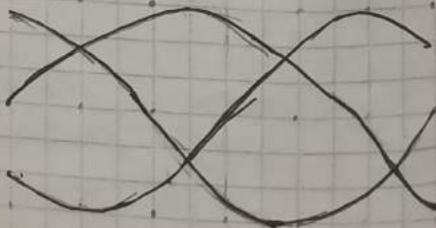
$$\frac{n}{m} = 1$$

$$f_{\text{сигн}} = 120 \text{ Гц}$$



$$\frac{n}{m} = \frac{2}{3}$$

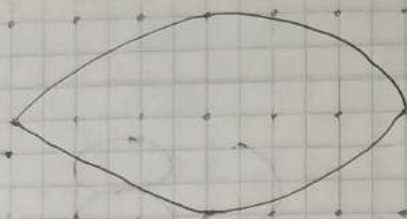
$$f_{\text{сигн}} = 80 \text{ Гц}$$





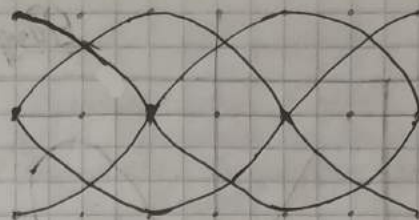
$$\frac{n}{m} = \frac{f}{2}$$

$$f_{\text{ген.}} = 60 \text{ Гц}$$



$$\frac{n}{m} = \frac{f}{4}$$

$$f_{\text{ген.}} = 90 \text{ Гц}$$



Сравн. синхронизации при  
изменении частоты генератора

$n/m$	Амплитуда синхронизации, дел.	$-\Delta f, \text{ Гц}$	$+\Delta f, \text{ Гц}$	$\Delta f \text{ среднее, Гц}$
$n/m = 1$	2	6	4	5
	9	20	24	22
$n/m = \frac{1}{2}$	2	—	—	—
	9	4	2	3
$n/m = 2$	2	10	5	7,5
	9	30	60	45

(Включается амплитуду синхронизации)

$f_e > n f_f$  осциллограмма бежит  $\leftarrow$  или  $\rightarrow$  (неверную фазу закрывают)

$f_e \leq n f_f$  осциллограмма бежит  $\rightarrow$  или  $\leftarrow$

Оценить время полевых трубки

$$\tau = \frac{1}{f} = \frac{1}{42 \text{ Гц}} \approx 0,024 \text{ с. } f = 42 \text{ Гц.}$$

Оценить линейность вертикального  
косяка усилителя.

(наблюдение 1:100, диапазон частот-выкл, усиление по X-тин)

Усиление				
3	U, В	3	4	5
	h, мм	16	22	28
5	U, В	3	4	5
	h, мм	38	50	64
7	U, В	3	4	5
	h, мм	54	72	90

Оценка частотных свойств  
вертикального усилителя.

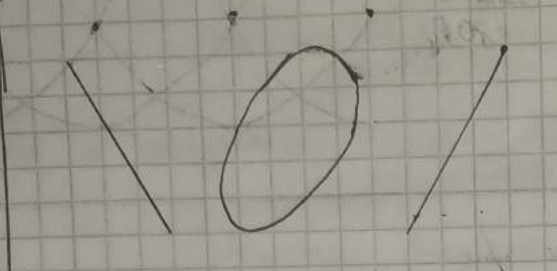
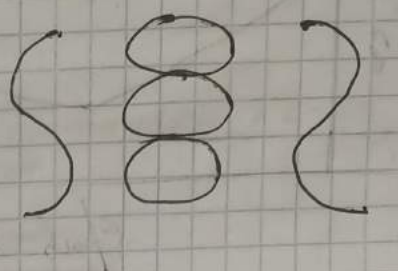
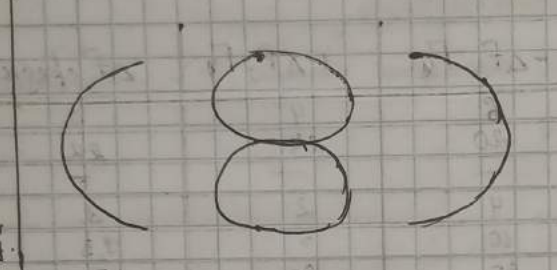
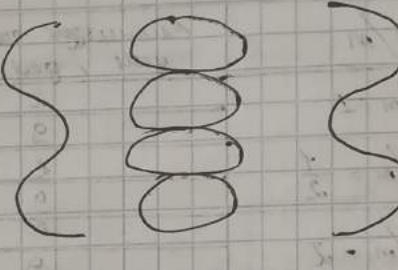
$U = \text{const.}; U = 3 \text{ В}$

$f, \text{ Гц}$	$1 \cdot 10^2$	$2 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^3$	$2 \cdot 10^3$	$1 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$1 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$
h, мм	54	54	54	54	54	56	54	44



Иванов  
А.И.

# Результаты измерений

$n=1$ $50 \Gamma_y$		$n=3$ $150 \Gamma_y$	
$n=2$ $100 \Gamma_y$		$n=4$ $200 \Gamma_y$	

17.09.202  
Горенов  
Турков  
Яковлев

## Отчет по лабораторной работе №17 Осциллограф

Цель: изучить работу осциллографа.

Аппаратура и оборудование: генератор синусов низкочастотной ГЗ-109, осциллограф электронный.

## Теоретическое обоснование

### I. Электронно-лучевая трубка (ЭЛТ)

ЭЛТ - представляет собой откачанную до высокого вакуума стеклянную трубку, передняя стенка которой (экран) покрывается с внутренней стороны люминофорным составом - фосфором, при попадании на фосфор электронного луча в месте попадания св. яркая светящаяся точка.

Электронный луч формируется с помощью электронной линзы, которая состоит из подогреваемого кат. и трех цилиндрических коаксиальных электродов: модулятора М, первого анода А<sub>1</sub> и второго анода А<sub>2</sub>.

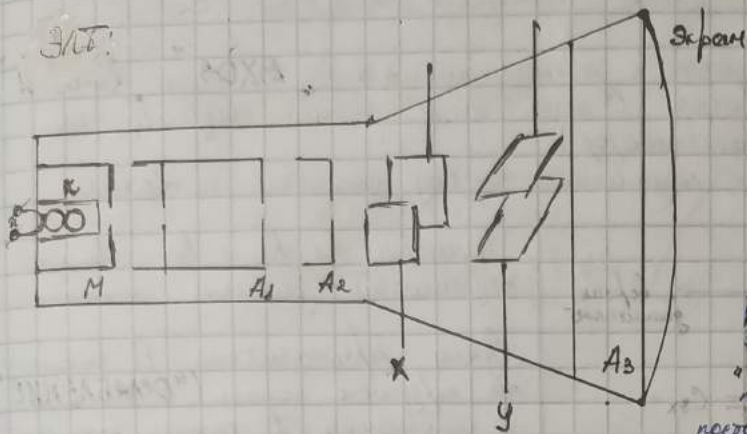
На второй анод подается положительное относительно катоды напряжение 1-2 кВ., на первый анод  $U_{A1} = (0,1 - 0,3) U_{A2}$ , а на модулятор небольшое отриц. напряжение  $U_M$  (отн. катоды).

Электроны, вылетающие из раскаленного катоды, ускоряются и фокусируются электр. полем так, что на экране получается малое резко очерченное светящееся



М.Б.А.О.

ЭЛТ:



Величина тока в пучке регулируется изменением напряжения на штурмане. Регулируется ручкой "Яркость".

Фокусировка осуществляется изменением напряжения на первом аноде (ручка "Фокус").

Ручки "ОСЬ Y ВНИЗ-ВВЕРХ" и "ОСЬ X ВЛЕВО-ВПРАВО", с помощью которых можно изменять постоянное напряжение на пластинках и смещать пучок по экрану.

Величина параметра трубки влияет на ее чувствительность:

$$\chi = \frac{h}{U_{\text{анод}}} \left[ \frac{\text{мм}}{\text{В}} \right]$$

Чувствительность трубки с помощью пластинок оптимально.

$$\chi = \frac{l_1 \cdot l_2}{2d U_{\text{анод}}}, \text{ где}$$

$l_1$  - длина пластинок;  
 $l_2$  - расстояние от центра пластинок до экрана;  
 $d$  - расстояние между пластинками;  
 $U_{\text{анод}}$  - напряжение на втором аноде.

Из этого выражения видно, что для увеличения чувствительности следует увеличивать отклоняющие пластинки и увеличивать их длину.

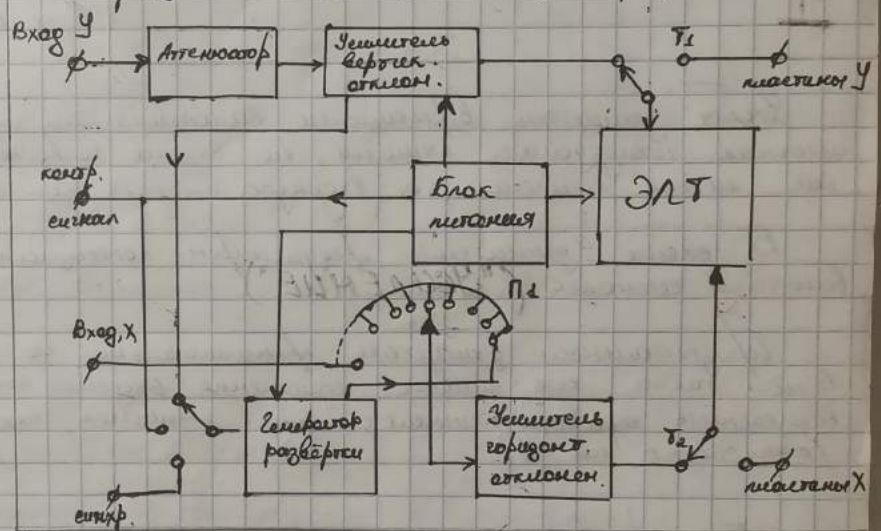
Чтобы при этом не уменьшая предельный угол отклонения, отклоняющие пластинки делают с изогнутым краем.

$\chi \uparrow$  при увеличении расстояния от пластинок до экрана.

$\chi \uparrow$  может быть достигнуто и путем уменьшения напряжения на втором аноде, но при уменьшении  $U_{\text{анод}}$  уменьшается яркость пучка и ухудшается его фокусировка.

Для некоторого сглаживания данного противоречия внутренняя поверхность стеклянного баллона вблизи экрана покрывается проводящим покрытием, которое называют ускоряющим или третьим анодом с  $U_{\text{а3}}$ .

Упрощенная блок-схема осциллографа типа СТ-1:

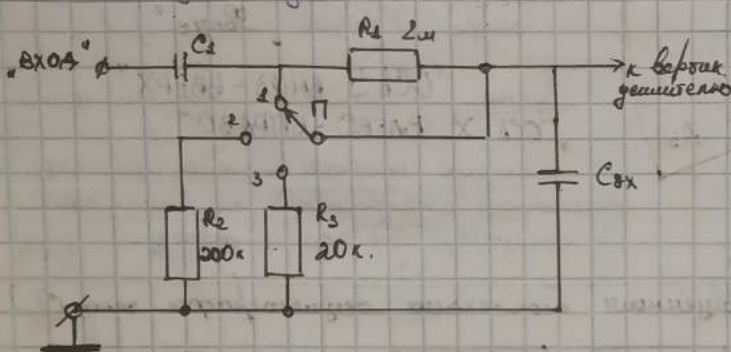




## II. Входные цепи и усилители.

Реальная чувствительность трубки составляет  $\approx 1,5-2 \frac{\text{мВ}}{\text{мм}}$

Измеряемый сигнал подводится к левому электроду "ВХОД" и "ЗЕМЛЯ" на передней панели осциллографа. С этих электродов сигнал поступает на входной делитель напряжения (аттенуатор). Компенсатор  $C_1$  препятствует паразитному на входу усилителя постоянного тока составляющей входного сигнала.



Резисторы  $R_1$ ,  $R_2$  и  $R_3$  образуют ступенчатый делитель напряжения.

Рука переключателя П выведена на переднюю панель ("ОСЛАБЛЕНИЕ"). В положении 1 сигнал поступает непосредственно на вход усилителя без ослабления, в положении 2 сигнал ослабляется в 10 раз и в положении 3 - в 100 раз.

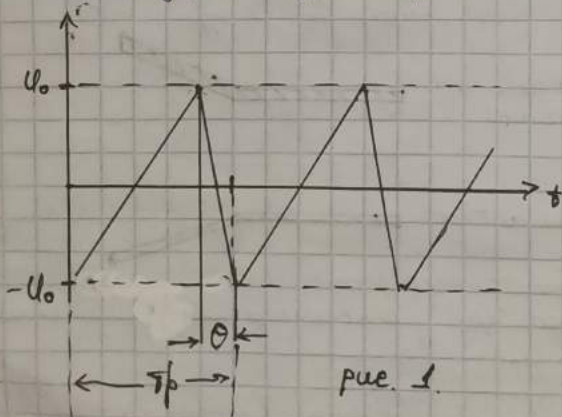
Чтобы усилитель вертикального отклонения как можно меньше искажал исходный измеряемый сигнал, его входное сопротивление стремится сделать как можно большим, а входную емкость как можно меньшей.

В схеме усилителя предусмотрен потенциометр, позволяющий регулировать величину сигнала ("УСИЛЕНИЕ").

Горизонтальный делитель принципиально не отличается от вертикального. В нем также есть такое же измерение входного сигнала и также имеется возможность переключения сигнала, поступающего на вход, непосредственно на X-плоскость (аналогично на Y).

## III. Блок развертки.

Генератор развертки вырабатывает пилообразное напряжение, с помощью которого осуществляется равномерное отклонение луча по оси X.



Когда напря. такой формы прикл. к пластинкам X, и напря. возр. от  $-U_0$  до  $U_0$  - луч равномерно движется по экрану слева направо, а за время  $0 \ll T_r$  возвр. обратно (и через  $T_r$  весь процесс повторяется).

Напр. выраб. ген. развертки несколько отлич. от приведенного на рис. 1.

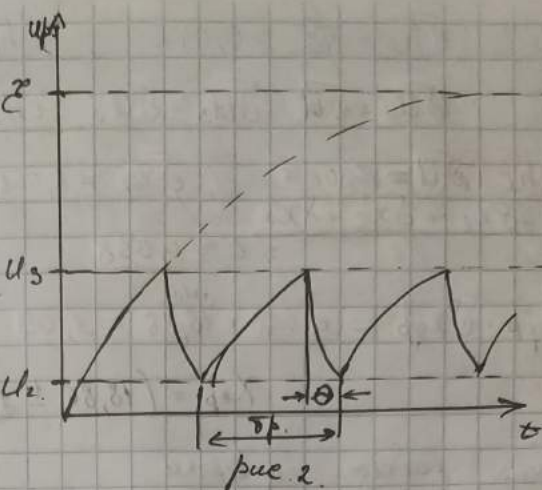


Самостоятельное изменение частоты развертки осцил. пересич. ПЗ (меняет конденсатор разл. ёмкости).

Регулируется резко с помощью ручки. **ДИАПАЗОН ЧАСТОТ**

Равномернее неавтом. регулировка частоты развертки осцил. с помощью ручки

**ЧАСТОТА ПЛАВНОЙ**



#### IV. Синхронизация.

Осциллограмма будет устойчивой, если период напр. развертки кратен периоду измеряемого сигнала.

$$T_r = n T_c, \text{ где } n \in \mathbb{Z}$$

Для получения неподвижной осциллограммы достаточно выполнить менее жесткого условия.

$$m T_r = n T_c.$$

Наложение сигнала возможно лишь при  $\chi$  (время последовательности)

**Задание.**  
(расчетов внешних.)

① Определение внешних чувствительностей вертикального и горизонтального каналов осциллографа (с погрешностью).

$$\Delta h = 2 \text{ мм. (по цене деления осциллографа.)}; \quad \delta h = \frac{\Delta h}{h}$$

$$\delta U = \frac{\Delta U}{U} \rightarrow \Delta U = 0,025 \cdot 0,015 = 0,000375 \text{ В}$$

$$\text{У канал: } \delta U_1 = \frac{0,000375}{0,009} \approx 0,0417; \quad \delta U_2 \approx 0,0313; \quad \delta U_3 = 0,025$$

$$\delta h_1 \approx 0,041; \quad \delta h_2 \approx 0,059; \quad \delta h_3 \approx 0,045$$

$$\rightarrow \delta \chi_1 = \delta h_1 + \delta U_1 = 0,1124; \quad \delta \chi_2 = 0,0903; \quad \delta \chi_3 = 0,07$$

$$\delta \chi_{\text{ср.}} = \frac{\delta \chi_1 + \delta \chi_2 + \delta \chi_3}{3} \approx 0,091$$

$$\Rightarrow \Delta \chi = \chi_{\text{ср.}} \cdot \delta \chi_{\text{ср.}} = 1046,25 \cdot 0,091 \approx 95,21 \frac{\text{мм}}{\text{В}}$$

$$\chi_{\text{ср.}} = (1046,25 \pm 95,21) \frac{\text{мм}}{\text{В}}$$



$X$  координат:  $\delta h_1 = \frac{2}{48} \approx 0,042$  ;  $\delta h_2 = \frac{2}{64} \approx 0,031$  ;  $\delta h_3 = \frac{2}{80} \approx 0,025$

$\delta U_1 = 0,0385 \cdot 0,9 \approx 0,0368$  ;  $\delta U_2 = 0,045$  ;  $\delta U_3 = 0,0563$

$\delta x_1 = \delta h_1 + \delta U_1 = 0,0858$  ;  $\delta x_2 = 0,046$  ;  $\delta x_3 = 0,0813$

$\delta x_{\text{ср}} = \frac{\delta x_1 + \delta x_2 + \delta x_3}{3} \approx 0,0744$

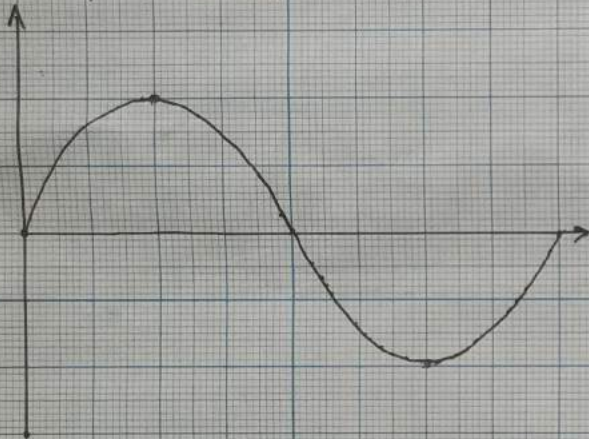
$\Delta x = x_{\text{ср}} \cdot \delta x_{\text{ср}} \approx 1,47 \frac{\text{мм}}{\text{В}}$

$x_{\text{ср}} = (18,86 \pm 1,47) \frac{\text{мм}}{\text{В}}$

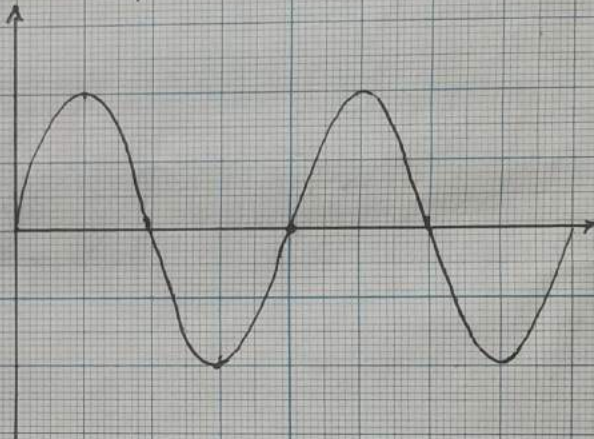
② Изучение работы развертки:

$f_p = 120 \text{ Гц}$

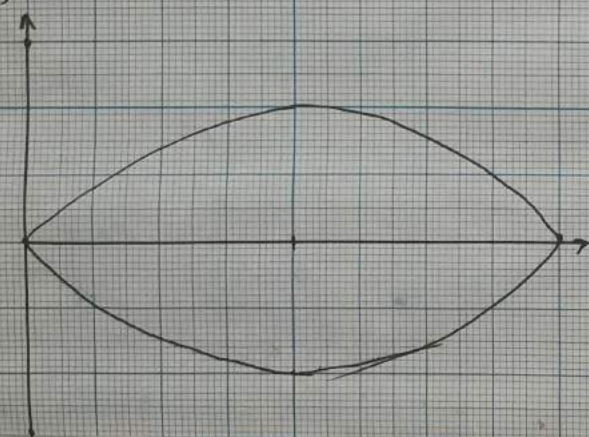
1)  $\frac{n}{m} = 1$  ;  $f_c = 120 \text{ Гц}$



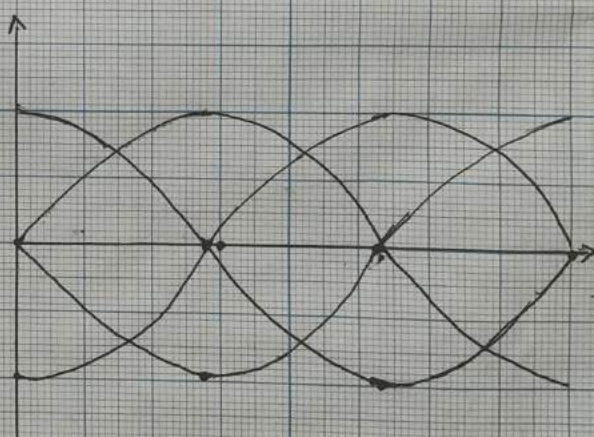
2)  $\frac{n}{m} = 2$  ;  $f_c = 240 \text{ Гц}$



3)  $\frac{n}{m} = \frac{1}{2}$  ;  $f_c = 60 \text{ Гц}$

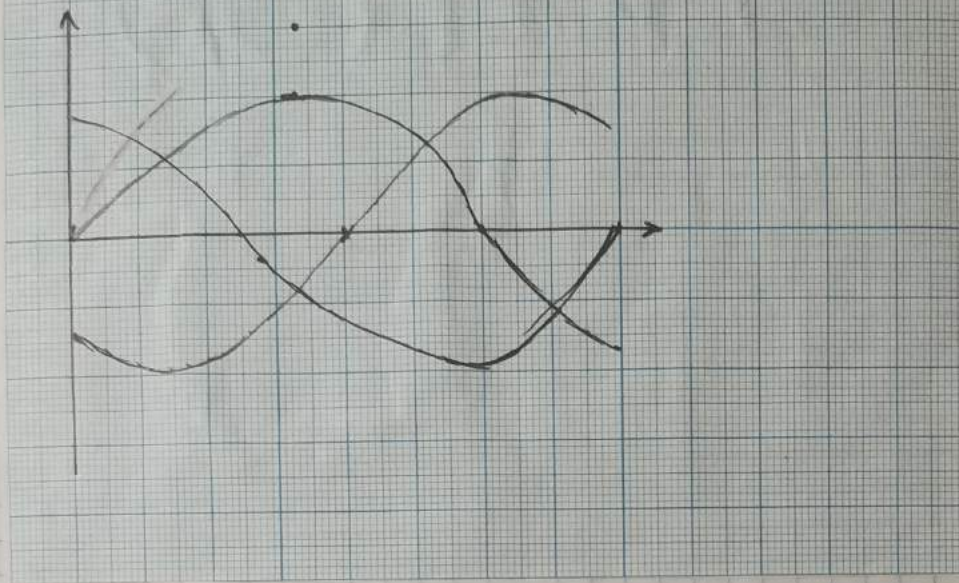


$\frac{n}{m} = \frac{3}{4}$  ;  $f_c = 90 \text{ Гц}$





$$\frac{U}{m} = \frac{2}{8}; f_c = 80 \text{ Гц.}$$



- ③ Срыв синхронизации при изменении частоты. (см. табл. в протоколе)

при  $f_c > n f_r$  синхронизация будет вправо  
при  $f_c \leq n f_r$  синхронизация будет влево

- ④ Оценка времени помехового (τ):

$$f = 42 \text{ Гц} \rightarrow \tau = \frac{1}{f} = \frac{1}{42 \text{ Гц}} \approx 0,024 \text{ с.}$$

$$\rightarrow \tau \approx 0,024 \text{ с.}$$

- ⑤ Оценка линейности вертикального канала усилителя

Умножение				
3	U, В	$3 \pm 0,125$	$4 \pm 0,125$	$5 \pm 0,125$
	h, мм	$16 \pm 2$	$22 \pm 2$	$28 \pm 2$
5	U, В	$3 \pm 0,125$	$4 \pm 0,125$	$5 \pm 0,125$
	h, мм	$38 \pm 2$	$50 \pm 2$	$64 \pm 2$
7	U, В	$3 \pm 0,125$	$4 \pm 0,125$	$5 \pm 0,125$
	h, мм	$54 \pm 2$	$42 \pm 2$	$80 \pm 2$

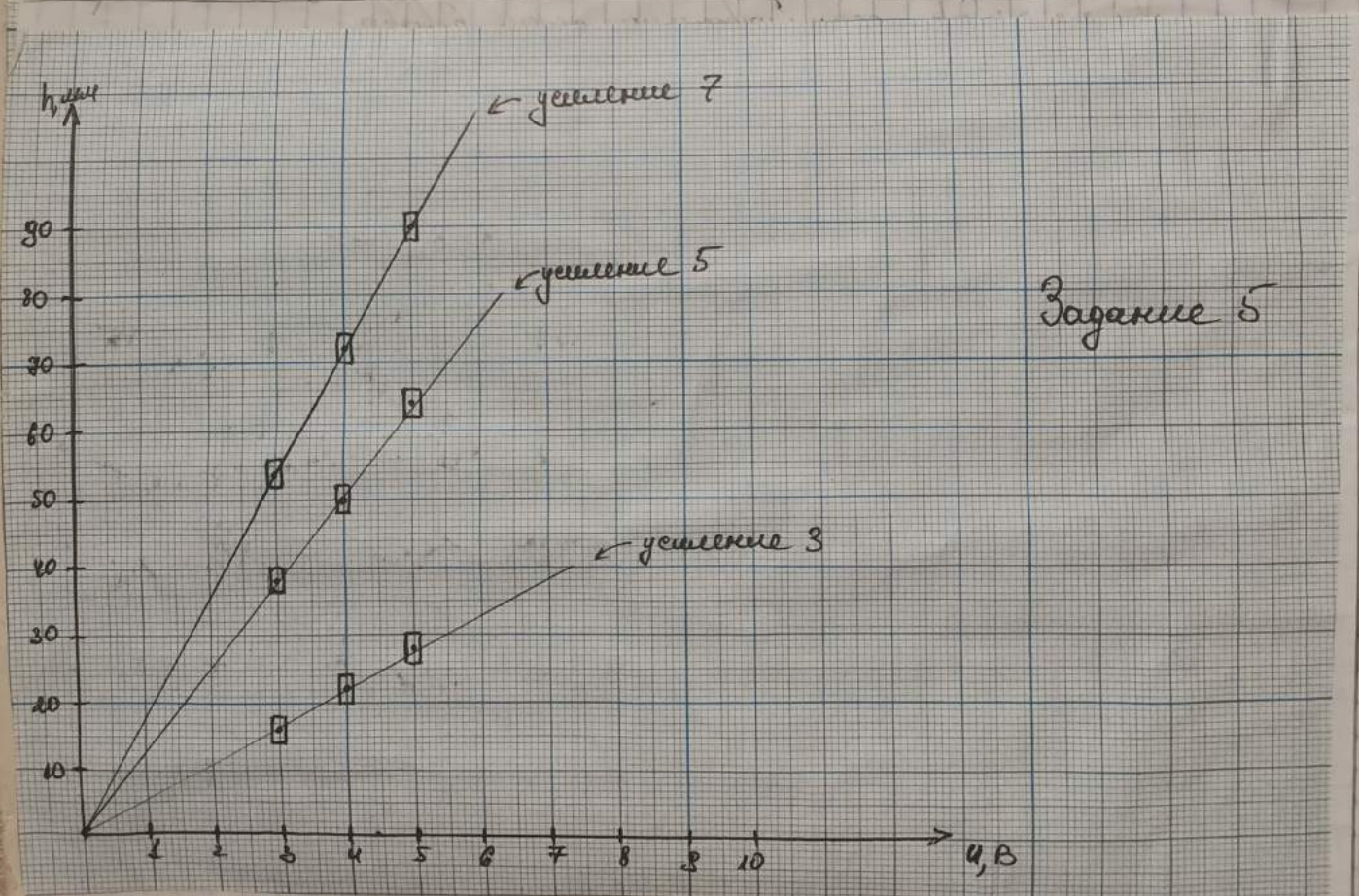
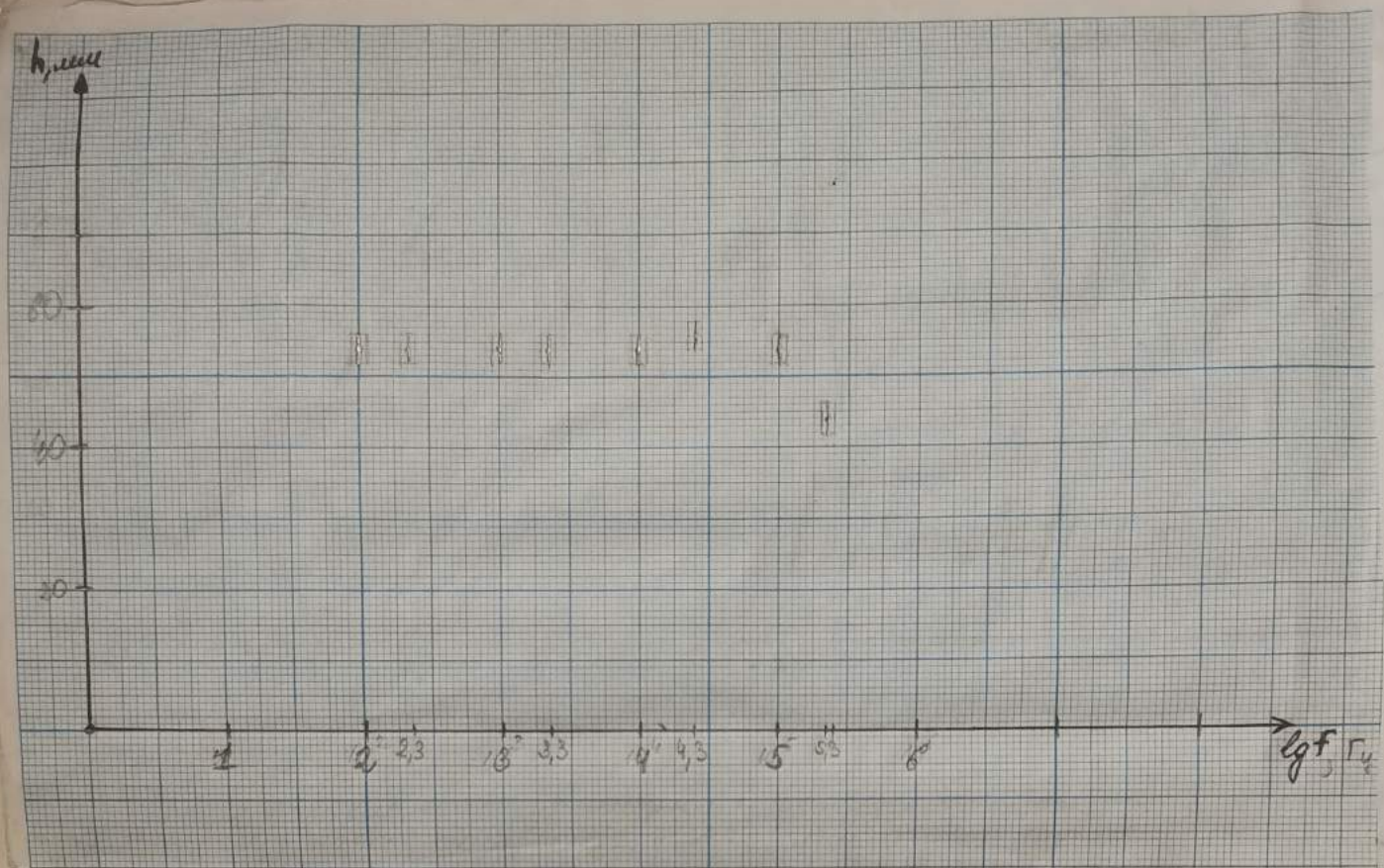
$$\Delta h = 2 \text{ мм} \rightarrow \Delta U_1 = 0,125 \text{ В} ; \Delta U_2 = 0,125 \text{ В} ; \Delta U_3 = 0,125 \text{ В}$$

$$\Delta U = \sigma U \cdot U$$

- ⑥ Оценка частотных свойств вертикального усилителя. (см. таблицу в протоколе.)



и  
и  
и





# 7) Наблюдение фигур Лиссажу (см. пробник)

Фигуры Лиссажу можно наблюдать при перемещении "X" и "Y" координатного или синусоидального напряжения, (или для измерения амплитуды и в частности для измерения разности фаз)

$$y = A \sin(\omega t)$$

$$x = A \sin(\omega t + \varphi) \quad \text{— где } \varphi \text{ — разность фаз}$$

Когда  $f_0 = f_1 = 50 \text{ Гц}$   $\rightarrow \omega = \frac{2\pi f}{1} \rightarrow \omega_1 = \omega_2$   
( $n=1$ )

$$x = A_1 \cos(\omega t)$$

$$y = A_2 \cos(\omega t + \varphi)$$

$$\frac{y^2}{A_2^2} + \frac{x^2}{A_1^2} - \frac{2xy}{A_1 A_2} \cos(\varphi_2 - \varphi_1) = \sin^2(\varphi_2 - \varphi_1)$$

Если  $\varphi_2 - \varphi_1 = \Delta \varphi = \frac{\pi}{2} \rightarrow \frac{y^2}{A_2^2} + \frac{x^2}{A_1^2} = 1$

при  $f_0 = f_1 \rightarrow$  уравнение эллипса (как будто вращающийся).

Пусть меняемся по закону косинуса, и  $f_x = 2f_y = 2f$

Подставим это в формулы  $\omega = 2\pi f$  (для косинуса)

$$y = A \cos(ft) \rightarrow A = \frac{y}{\cos ft}$$

$$x = A \cos(2ft + \varphi)$$

↓ разложим по формуле:

$$x = \frac{y \cos^2 ft}{\cos ft} - \frac{y \sin^2 ft}{\cos ft} - 2y \sin ft \sin \varphi$$

$$x = y \cos ft - \frac{y - y \cos^2 ft}{\cos ft} - 2y \sin ft \sin \varphi$$

$$x = y \cos ft - \frac{y}{\cos ft} + y \cos ft - 2y \sin ft \sin \varphi = 2y \cos ft - \frac{y}{\cos ft} - 2y \sin ft \sin \varphi$$

Добавим, согласно этому выведем y:

$$x = y \left( 2 \cos(2\pi ft) - \frac{1}{\cos(2\pi ft)} - 2 \sin(2\pi ft) \sin \varphi \right) \text{ — зависимость}$$

При наблюдении можно заметить, что n-производит

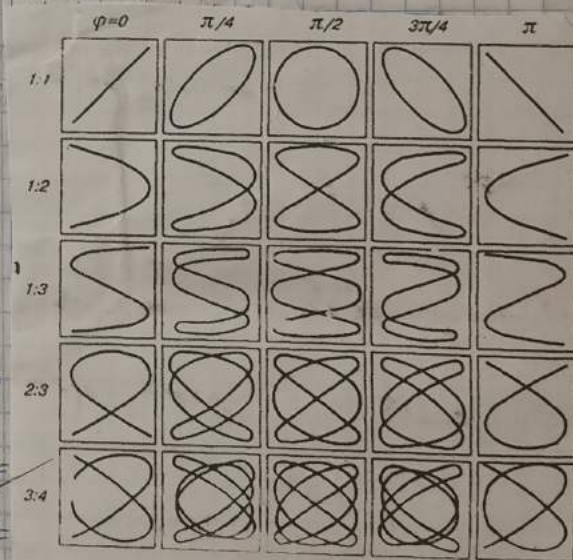


Рис. 3



кол-во касательных к осциллограмме по оси Y.

Вывод: в процессе лаб. работы были изучены принцип работы осциллографа, принцип работы развертки, синхронизации. Также увидели срыв синхронизации при изменении частоты генератора. Более стр. время после свечения трубки и стр-а звуков. тельность вертик. и горизонт. каналов. Опытным путем доказана линейность вертикального канала трубки. Получены осциллограммы с разными соотношениями частот сигнала и развертки и получены фигуры Лиссажу.

8.10.2020

Задание 3. (таблица)

$n/m$	Амплитуда синхронизации, дел.	$-\Delta f, \Gamma_4$	$+\Delta f, \Gamma_4$	$\Delta f$ среднее, $\Gamma_4$
$n/m = 1$	2	6	4	5
	9	20	24	22
$n/m = \frac{1}{2}$	2	—	—	—
	9	4	2	3
$n/m = 2$	2	10	5	7,5
	9	30	60	45

Задание 4. (при  $n=2$ )

$$y = A \cos(ft) \rightarrow \cos(ft) = \frac{y}{A}$$

$$x = A \cos(2ft + \varphi) = A (\cos 2ft \cos \varphi - \sin 2ft \sin \varphi) =$$

$$= A ((\cos^2 ft - \sin^2 ft) \cos \varphi - 2 \sin ft \cdot \cos ft \cdot \sin \varphi)$$

$$\sin ft = \sqrt{1 - \cos^2 ft} = \sqrt{1 - \frac{y^2}{A^2}}$$

$$\sin^2 ft = 1 - \frac{y^2}{A^2}$$

$$\Rightarrow x = A \left( \left( \frac{y^2}{A^2} - 1 + \frac{y^2}{A^2} \right) \cos \varphi - 2 \cdot \sqrt{1 - \frac{y^2}{A^2}} \cdot \frac{y}{A} \cdot \sin \varphi \right) =$$

$$= A \left( \left( \frac{2y^2}{A^2} - 1 \right) \cos \varphi - \frac{2y}{A} \sqrt{1 - \frac{y^2}{A^2}} \cdot \sin \varphi \right)$$