

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАТИКИ»

Кафедра линий связи и измерений в технике связи

В.С. БАСКАКОВ, А.Л. КОСОВА

**ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ ОСНОВНЫХ  
ПАРАМЕТРОВ СИГНАЛА В ЛИНЕЙНОМ РЕЖИМЕ**

Методические указания по выполнению  
лабораторной работы №5

Самара  
2017

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ,  
протокол № 34 от 17.02.2017 г.

Рецензент:  
д.т.н., проф. Мелентьев В.С.

**Баскаков В.С., Косова А.Л.**

**Осциллографические измерения основных параметров сигнала в линейном режиме** методические указания по выполнению лабораторной работы/ В.С. Баскаков, А.Л. Косова. – Самара: ПГУТИ, 2017. –17 с.

В учебно-методической разработке приводится систематизированный материал, посвященный изучению основных способов осциллографических измерений параметров сигнала в линейном режиме при калиброванной развертке.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 11.03.02 Инфокоммуникационные технологии и системы связи, 12.03.03 Фотоника и оптоинформатика, 11.03.01 Радиотехника, 11.05.01 Радиоэлектронные системы и комплексы, 10.05.02 Информационная безопасность телекоммуникационных систем, 11.03.01 Информационная безопасность, 27.03.04 Управление в технических системах, 27.03.05 Инноватика, 09.03.01 Информатика и вычислительная техника, 09.03.02 Информационные системы и технологии и предназначены для проведения лабораторных занятий.

© Баскаков В.С., 2017

© Косова А.Л., 2017

## 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение основных способов осциллографических измерений параметров сигнала в линейном режиме при калиброванной развертке. Оработка практических навыков работы с осциллографом.

## 2. ЛИТЕРАТУРА

2.1. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В.И. Нефедов, В.И. Хахин, Е.В. Федорова и др.; Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2001, с. 175-185, 194-197

2.2. Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах: Учебник для вузов / В.И. Нефедов, В.И. Хахин, Е.В. Федорова и др.; Под ред. В.И. Нефедова. – М.: Высш. шк., 2005, с.-287-307.

2.3. Метрология, стандартизация и измерения в технике связи: Учебное пособие для вузов/ БЛ.Хромой, А.В.Кандипов, А.Д.Сенявский и др.; Под ред.Б.П.Хромого-М:Радио и связь, 1986, с. 166-190,200-206

2.4. Кушнир Ф.В. Электрорадиоизмерения: Учебное пособие для вузов -Л. :Энергоатомиздат.1983, с. 120-153.

## 3. ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ

3.1. Изучить обобщенную структурную схему осциллографа.

3.2. Изучить основные способы измерения параметров сигнала: амплитуды, длительности, частоты с помощью осциллографа.

3.3. Подготовить конспект с краткими ответами на контрольные вопросы.

3.4.Подготовить бланк отчета, содержащий таблицы и схемы измерений.

## 4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1.Каково назначение и основные характеристики электронных осциллографов?

4.2.Какие каналы управления электронным лучом содержит осциллограф?

4.3.Каковы назначение, устройство и режимы работы канала вертикального и горизонтального отклонения ?

4.4.Каковы назначение, устройство и режимы работы канала управления яркостью?

4.5. Каковы назначение, устройство и режим работы генератора развертки?

4.6. Каковы назначение, принцип действия и виды синхронизации линейной развертки?

4.7. Какие развертки используются в осциллографе?

4.8. Каковы назначение и устройство калибратора амплитуды и длительности?

4.9. Как производится измерение напряжения осциллографом?

4.10. Как производится измерения частоты осциллографом при различных видах развертки ?

4.11. Каковы основные особенности использования осциллографом в качестве импульсного вольтметра?

## 5. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

5.1. Измерение амплитудных и временных параметров синусоидального сигнала при линейной калиброванной развертке.

5.2. Измерение амплитудных и временных параметров несинусоидального сигнала при линейной калиброванной развертке.

5.3. Оценка погрешности проведенных измерений.

## 6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

6.1. Титульный лист с указанием кафедры, наименованием работы, Ф.И.О. студента, номер учебной группы;

6.2. Цель работы;

6.3. Схемы измерений и перечень приборов, используемых в работе;

6.4. Таблицы с результатами измерений и вычислений;

6.5. Расчет погрешностей;

6.6. Вывод;

6.7. Подпись и дату выполнения работы.

## 7. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

7.1. Подготовка приборов к работе

7.1.1. Подготовить осциллограф к работе, для чего:

- Включить прибор в сеть и прогреть его согласно инструкции (10-15 мин.);

- Установить регулятор “ $\uparrow$ ” и “ $\leftrightarrow$ ” в среднее положение. Режим синхронизации в положение “Внутр.”;

- Вращая ручки регулятор “УРОВЕНЬ” и “СТАБИЛЬНОСТЬ” получить изображение луча на экране осциллографа;

- Установить ручками потенциометра “ЯРКОСТЬ” и “ФОКУС” на экране ЭЛТ четкое, но как можно тоньше, изображение луча.

7.1.2. Подготовить к работе генератор, для чего:

- Включить прибор в сеть и прогреть его согласно инструкции (10-15 мин.);

- Установить по напряжению шкалу 10 В;

- Установить переключатель поддиапазона частот в положение "x10";

7.1.3. Подготовить к работе частотомер, для чего:

- Включить прибор в сеть и прогреть его согласно инструкции (10-15 мин.);

- Установить режим измерения частоты, время измерения  $10^{-2}$  сек.

7.1.4. Подготовить к работе вольтметр, для чего:

- Включить прибор в сеть и прогреть его согласно инструкции (10-15 мин.); - Установить режим измерения "U";

- Установить поддиапазон измерения 10 В.

7.2. Измерение амплитудных и временных параметров синусоидального сигнала. 7.2.1. Собрать схему установки (рис. 1).

7.2.2. Установить на генераторе частоту и среднеквадратичное значение напряжения для выходного сигнала согласно табл. 1.

Таблица 1

№ бригады	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№ риски на шкале частот	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Напряжение, В	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5

При проведении измерений частоту и напряжение на генераторе сохранять неизменными.

7.2.3. Регулируя входной делитель переключателем "V/дел." на осциллографе, добиться размаха изображения сигнала по вертикали от 0,5 до 2/3 размера экрана.

7.2.4. Регулируя длительность развертки переключателем "Время\дел." на осциллографе 2-3 периодов синусоидального сигнала.

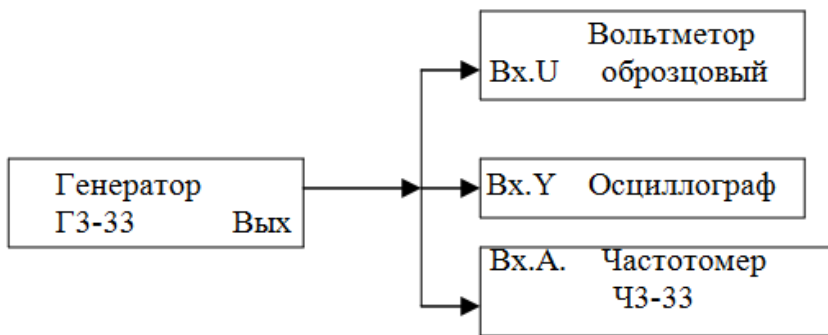


Рис. 1

7.2.5. Произвести измерения амплитуды синусоидального сигнала (рис.2) для этого сочетать с переключателем “Vдел” масштаб по оси Y ( $m_y$ ) и определить максимальный размах сигнала ( $H$ ).

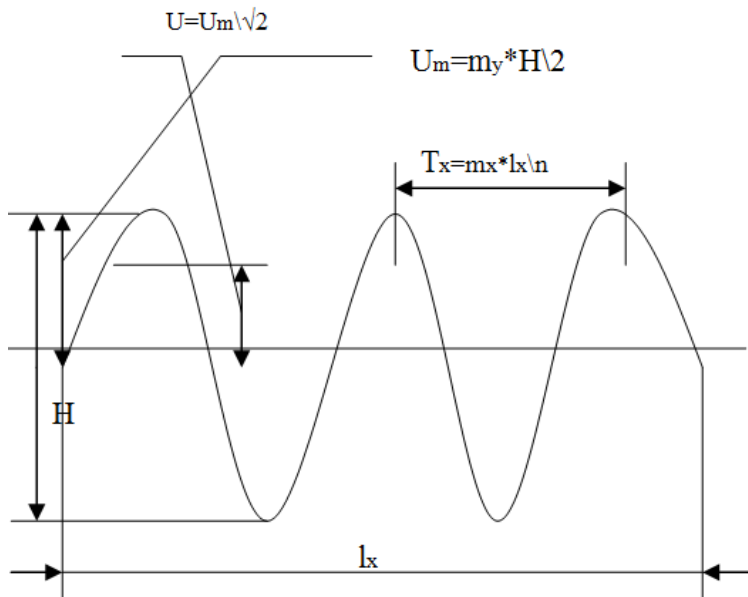


Рис.2

7.2.6 По измеренным данным п.7.2.5 для синусоидального сигнала рассчитать:

- амплитудное значение  $U_m = m_y \cdot H / 2$
- среднеквадратичное значение  $U = (m_y \cdot H) / 2 \cdot \sqrt{2} = U_m / \sqrt{2}$

- средневыпрямленное значение

$$U_{с.в} = (m_y \cdot N) / \pi = (2 \cdot U_m) / \pi = U / 1.11$$

Данные измерений и проведенные по ним расчеты занести в табл.2.

Таблица 2

Экспериментальные данные		Расчетные данные		
$m_v$ (В/дел)	N (дел)	$U_m$ (В)	U(В)	$U_{с.в.}$ (В)

7.2.7. Рассчитать погрешности выполненных измерений (табл.2).

Примечание: За истинное значение сигнала принять показание вольтметра, дающего отсчет в среднеквадратических значениях.

Расчет погрешностей произвести по следующим формулам:

- для среднеквадратического значения  $\Delta = U - U_{обр}$

- для амплитудного значения  $\Delta_m = \Delta \cdot \sqrt{2}$

- для средневыпрямленного значения

$$\Delta_{с.в} = \Delta \cdot (\pi / 2 \cdot \sqrt{2})$$

- для относительной погрешности измерений  $\delta_U = \left( \frac{\Delta}{U_{обр}} \right) \cdot 100\%$ .

Зная погрешности, произвести запись результатов измерений.

Данные расчетов и измерений свести в табл. 3.

Таблица 3

Результаты измерений			Погрешность измерений
$U' = U \pm \Delta$	$U'_m = U_m \pm \Delta_m$	$U'_{св} = U_{св} \pm \Delta_{св}$	$\delta_U = (\Delta / U_{обр}) \cdot 100\%$

При значении относительной погрешности измерения больше 10% произвести настройку осциллографа и повторить измерение. Правильно проведенное измерение имеет относительную погрешность измерения, не превышающую 5-10%.

7.2.8. Произвести измерение временных характеристик синусоидального сигнала.

Для этого сосчитать с переключателя "Время/дел." масштаб (чувствительность) по оси  $X(m_x)$ . И определить по осциллограмме размах по оси  $X(l_x)$  занимаемый целым числом периодов ( $n$ ) синусоидального сигнала.

7.2.9. По измеренным данным П.7.2.8 для синусоидального сигнала рассчитать:

- длительность измеренного временного интервала  $t_x = m_x \cdot l_x$ ;
- $l_x$ -длительность периода  $T_x = t_x/n$  ;
- частоту  $f_x = 1/T_x$ .

Данные измерений и проведенные по ним расчеты занести в табл.4.

7.2.10 Рассчитать погрешности выполненных измерений (табл.4).

Примечание: За истинное значение частоты принять показание частотомера ("Г").

Таблица 4

Экспериментальные данные				Расчетные данные		
$f$ (Гц)	$m_x$ (мс/дел)	$L_x$ (цел)	$n$ (число)	$t_x$ (мс)	$T_x$ (мс)	$f_x$ (Гц)

Расчет погрешностей произвести по следующим формулам:

- для частоты синусоидального сигнала  $\Delta f = f_x - f$
- для периода синусоидального сигнала  $\Delta T = (\Delta f/f_x) \cdot (1/f)$   
 $(\Delta T = T_x - T = (1/f_x) - (1/f) = (\Delta f/f_x))$
- для временного отрезка  $\Delta t_x = n \cdot \Delta T$
- для относительной погрешности измерения  
 $\delta f = (\Delta f/f_x) \cdot 100\%$

Зная погрешности, про извести запись результатов измерений. Данные расчетов и измерений свести в табл.5.



Таблица 5

Результат измерений			Погрешность измерений
$t'_x = t_x \pm \Delta t_x$	$T'_x = T \pm \Delta T_x$	$f'_x = f_x \pm \Delta f$	$\delta_f = (\Delta f / f) \cdot 100\%$

При значении относительной погрешности измерения больше 10% произвести настройку осциллографа и повторить измерение. Правильно проведенное измерение имеет относительную погрешность измерения, не превышающую 5-10%.

7.3. Измерение амплитудных и временных параметров несинусоидальных сигналов.

7.3.1. Собрать схему установки (рис. 3).

7.3.2. Измерение параметрОВ выпрямленного синусоидального сигнала произвести согласно рис 4:

- Используя галетный переключатель макета, открыть изображение выпрямленного сигнала (рис.4).

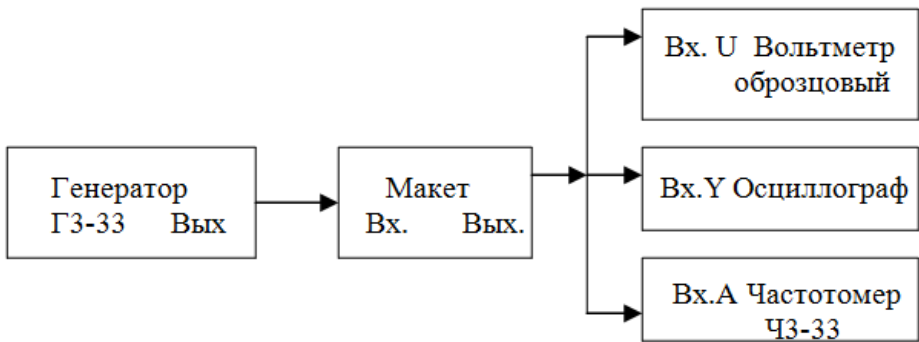


Рис. 3

- Регулируя входной делитель переключателем "V/дел." на осциллографе, добиться размаха изображения сигнала по вертикали от 0,5 до 2(3 размера экрана. Зарисовать изображение сигнала.

- Произвести измерение амплитуды выпрямленного сигнала. для этого сосчитать с переключателя "V/дел." масштаб (чувствительность) по оси  $Y(m_y)$ , определить размах сигнала "  $H_m$  " и с помощью переключения типа входа найти размах смещения сигнала "  $H_0$  ".

- По полученным данным для выпрямленного синусоидального сигнала рассчитать:

- постоянную составляющую  $U_0 = m_y \cdot H_0$ ;
- амплитуду сигнала  $U_m = m_y \cdot H_m$ ;
- среднееквадратичное значение

$$U = U_m / \sqrt{2}$$

Данные измерений и проведенные по ним расчеты занести в табл.6.

Таблица 6

Экспериментальные данные		Расчетные данные			
$m_y$	$H_0$	$H_m$	$U_0$	$U_m$	$U$
(В/дел)	(дел)	(дел)	(В)	(В)	(В)

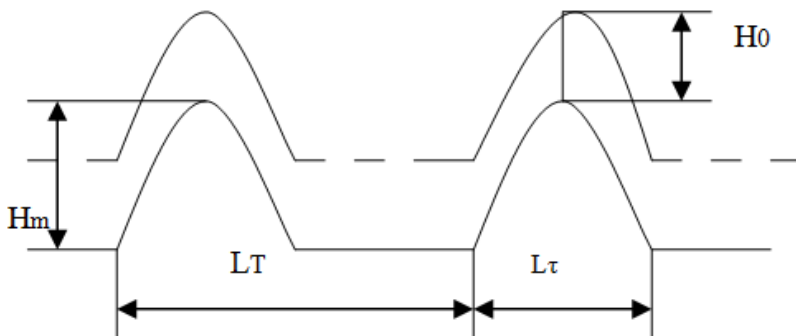


Рис. 4

- Произвести измерение временных характеристик выпрямленного сигнала. Для этого сосчитать с переключателя "Время/дел." масштаб (чувствительность) по оси  $X(m_x)$ , и определить по осциллограмме размах " $H_m$ " и " $L_\tau$ " (рис.4).

- По полученным данным рассчитать:
- длительность импульса  $\tau = m_x \cdot L_\tau$
- период  $T = m_x \cdot L_T$
- скважность  $Q = T/\tau$ .

Данные измерений и проведенные по ним расчеты занести в табл.7.

- Рассчитать погрешности измерений. для этого вольтметром определить среднеквадратичное значение напряжения, а частотомером ЧЗ-33 (вход Б) значение периода  $T_x$ . Эти данные принять за образцовые.

Таблица 7

Экспериментальные данные			Расчетные данные		
$m_x$ (мс/дел)	$l_\tau$ (дел)	$L_T$ (дел)	$T$ (мс)	$T$ (мс)	$Q=T/\tau$

Расчеты выполнить по следующим формулам:

- для измеренного значения амплитуды (по среднеквадратическому значению):

$$\Delta U = U - U_{обр};$$

$$\delta_U = \Delta U / U_{обр} \cdot 100\%;$$

- для измеренного значения периода:

$$\Delta T = T_x - T;$$

$$\delta T = (\Delta T / T) \cdot 100\%.$$

Исходные данные и проведенные по ним расчеты внести в табл.8

Таблица 8

Экспериментальные данные				Расчетные данные			
$U$	$U_{обр}$	$T_x$	$T$	$\Delta U$	$\delta_U$	$\Delta T$	$\delta T$
(В)	(В)	(мс)	(мс)	(В)	(%)	(мс)	(%)

При значений относительной погрешности измерения больше 10% повторить измерение.

7.3.3. Измерений амплитудных и временных параметров прямоугольных импульсов .

-С помощью галетного переключателя макета отыскать изображение прямоугольного импульса (рис.5)

- Регулируя входной делитель переключателем "V/дел." на осциллографе, добиться размаха изображения сигнала по вертикали от 0,5 до 2(3 размера экрана. Зарисовать изображение сигнала.

- Произвести измерение амплитуды прямоугольного импульса (аналогично п.7.3.2. (рис.5))

- По полученным данным для выпрямленного синусоидального сигнала рассчитать:

- постоянную составляющую  $U_0 = m_y \cdot H_0$ ;

- амплитуду сигнала  $U_m = m_y \cdot H/2 = m_y \cdot H_m$ ;

- среднеквадратичное значение  $U = U_m$  (для данного вида сигнала  $Q=2$  и  $U_0=0$ )

Данные измерений и проведенные по ним расчеты занести в табл.9.

- Провести измерение временных параметров прямоугольного импульса (аналогично п.7.3.2. (рис5.)).

- Провести расчет временных интервалов (аналогично п.7.3.2 (рис.5)). Данные измерений и проведенные по ним расчеты занести в табл. 10.

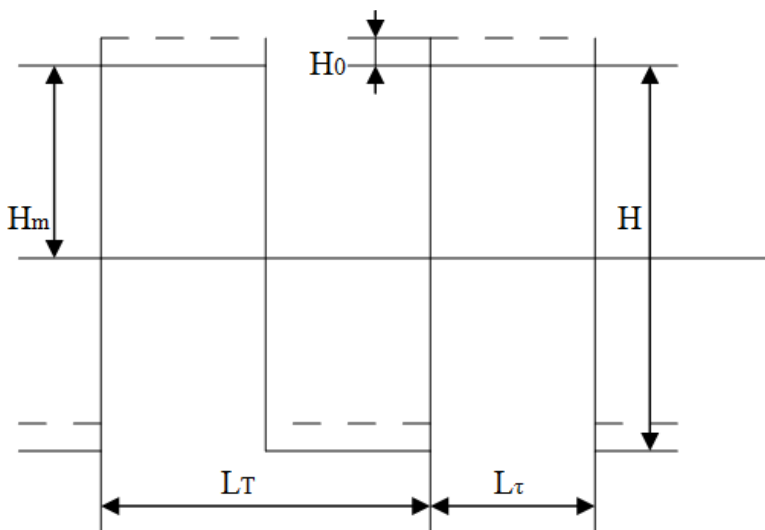


Рис. 5

Таблица 9

Экспериментальные данные			Расчетные данные	
$m_y$	$H_m = H/2$	$H_0$	$U_0$	$U_m$
(мс/дел)	(дел)	(дел)	(В)	(В)

Таблица 10

Экспериментальные данные			Расчетные данные		
$m_x$	$L_\tau$	$L_T$	$\tau$	$T$	$Q=T/\tau$
(мс/дел)	(дел)	(дел)	(мс)	(мс)	-

- Рассчитать погрешности выполненных измерений (аналогично п.7.3.2). Исходные данные и проведенные по ним расчеты внести в табл. 11. При значении относительной погрешности измерения больше 10 % повторить измерение.

Таблица 11

Экспериментальные данные				Расчетные данные			
$U$	$U_{обр}$	$T_x$	$T$	$\Delta U$	$\delta U$	$\Delta T$	$\delta T$
(В)	(В)	(мс)	(мс)	(В)	(%)	(мс)	(%)

## ПРИЛОЖЕНИЕ

### ОПИСАНИЕ ОБОБЩЕННОЙ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ ОСЦИЛЛОГРАФА

Структурные схемы осциллографов различных типов могут в некоторых Деталях отличаться друг от друга, однако в основном они соответствуют обобщенной структурной схеме, изображенной на рис. 6.

Универсальный осциллограф состоит из электронно-лучевой трубки (ЭЛТ), трех электрических каналов управления лучом: - канала вертикального отклонения (канала Y), канала горизонтального отклонения (канала X) и канала управления яркостью (канала Z), калибратора и блока питания (на схеме не показан).

Канал Y управляет вертикальным отклонением луча, содержит аттенуатор (Ат) для ослабления больших сигналов, предварительный усилитель (ПУ) для усиления малых сигналов, линию задержки (ЛЗ) для небольшой временной задержки сигнала, оконечный усилитель (УВО - усилитель вертикального отклонения), на выходе которого вырабатывается симметричный противофазный сигнал, поступающий на две вертикально отклоняющие пластины Y. Исследуемый сигнал подают на вход канала Y.

Канал X управляет горизонтальным отклонением луча. Одновременное воздействие двух напряжений " $U_x$ " и " $U_y$ " на электронный луч трубки и вызывает появление осциллограммы, отображающей зависимость  $U_y = f(U_x)$ . Напряжение  $U_x$  называют развертывающим, а канал X - каналом развертки. Главным узлом канала X является генератор развертки (ГР), вырабатывающий линейно изменяющее пилообразное напряжение, пропорциональное времени ( $U_x = mt$ ); для управления частотой развертывающего напряжения используется напряжение синхронизации, поступающего через селектор синхронизации (СС) и формирующее устройство (ФУ). Это напряжение может формироваться из входного сигнала - режим внутренней синхронизации, из внешнего сигнала режим внешней синхронизации и из напряжения сети - режим синхронизации от сети.

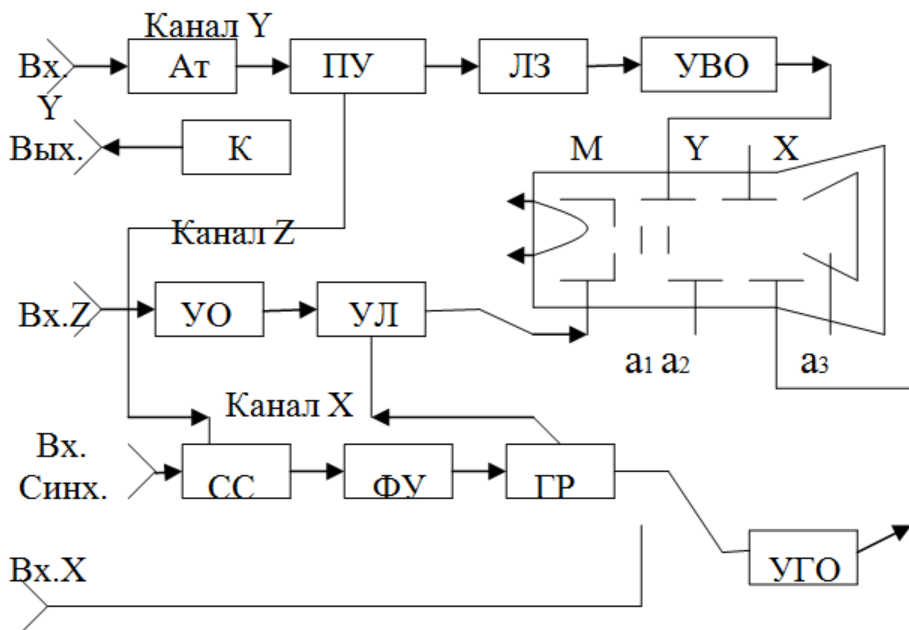


Рис. 6 дорисовать

Как правило, в осциллографе используется три режима работы генератора развертки: автоколебательный, ждущий и режим одиночного запуска.

В автоколебательном режиме генератор работает непрерывно. Период его пилообразного напряжения синхронизируется периодом напряжения синхронизации. Режим синхронизации определяется пользователем.

В ждущем режиме генератор развертки находится в состоянии готовности к рабочему ходу. Запускается генератор развертки только при поступлении импульса синхронизации, формируемого из исследуемых импульсов в режиме внутренней или внешней синхронизации. Каждый рабочий ход развертки начинается с приходом синхронизирующего импульса.

В режиме одиночного запуска генератор развертки находится в состоянии готовности к рабочему ходу. Запускается генератор развертки одиночным импульсом при нажатии специальной кнопки, формируя одиночное пилообразное напряжение.

В канале X имеется также усилитель горизонтального отклонения (УГО), который может работать в двух режимах: режиме линейной развертки и в режиме усиления входного сигнала. Выбор режима работы усилителя

определяется положением переключателя (П). С помощью переключателя (П) можно вход усилителя (УГО) присоединить к выходу генератора развертки, тогда усилитель работает в линейном режиме развертки, или к зажимам "вх.х", тогда усилитель работает в режиме усиления входного сигнала. Выходное двухфазное напряжение с усилителя поступает на пластины X.

Канал Z служит для управления яркостью луча ЭЛТ. Он содержит усилитель - ограничитель (УО), для формирования импульсов гашения яркости луча, а также устройства управления яркостью луча (УЛ.). Сигнал с его выхода поступает на модулятор ЭЛТ.

Калибратор амплитуды и длительности (К) включается в состав осциллографа как встроенная мера, формирующая образцовый сигнал, по которому настраиваются каналы У и X. Сигнал калибратора выводится на переднюю панель осциллографа и с помощью соединительного кабеля может быть подан на вход канала У.

Каналы осциллографа У, X и Z включаются в схему измерения, исходя из используемого способа измерения. В общем случае на вход канала У подается измеряемый сигнал. На входы каналов X и Z - вспомогательные сигналы. Сигнал, формируемый в канале X, определяет вид преобразования входного сигнала. В режиме линейной развертки в канале X формируется линейно изменяющийся пилообразный сигнал, и сигнал, подаваемый на вход У, отображается на экране осциллографа без изменения своей формы. Он представляет собой временную зависимость  $U_y(t)$  в декартовой системе координат. В режиме усиления внутренний генератор развертки в канале X отключен. Канал X работает в режиме усиления входного сигнала. Сигнал, подаваемый на вход У, отображается на экране осциллографа преобразованным согласно зависимости  $U_y(U_x)$ . Это может быть параметрическая зависимость, эллипс или фигуры Лиссажу.

Сигнал формируемый в канале Z определяет яркостные градации отображаемого сигнала. Если на его вход "Вх.Z" не подается внешний сигнал, то яркость луча в процессе измерения остается постоянной. При подаче на внешний вход "Вх.z" периодического сигнала в канале Z формируется, согласно

частоте внешнего сигнала, световая шкала меток времени.

Основными характеристиками осциллографа являются:

- диапазон измеряемых напряжений;
- диапазон измеряемых интервалов времени;
- полоса пропускаемых частот канала У;



- диапазон значений коэффициента отклонений канала У (мВ/дел; В/дел); - диапазон значений коэффициента развертки (мкс/дел);
- входные сопротивления и емкости каналов У, Х и Z;
- диапазон частот и амплитуд напряжения внешней синхронизации;
- диапазон частот и амплитуд напряжения в канале Z;
- параметры сигнала на выходе калибратора (амплитуда, частота, форма).

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

### ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОСЦИЛЛОГРАФА ПРИ АМПЛИТУДНЫХ ИЗМЕРЕНИЯХ

Первой характерной особенностью осциллографа в режиме амплитудных измерений является наличие большого значения  $R_{вх}$

$$R_{вх} \in (1 \div 10) \text{ МОм}$$

В то время как обычные вольтметры имеют:

$$R_{вх} \in (1 \div 10) \text{ кОм}$$

Это дает осциллографу два существенных преимущества перед вольтметром:

1) При измерении напряжения режим его работы близок к режиму холостого хода. Погрешности измерений напряжений и ЭДС отсюда за счет шунтирования измеряемого сигнала сопротивлением  $R_{вх}$  минимальны.

2) Требования к мощности измеряемого сигнала на много ниже, чем у обычных вольтметров. Действительно мощность передаваемого сигнала определяется сопротивлением нагрузки:

$$P_c = U^2 / R$$

По этому диапазон использования осциллографа на много шире чем у обычного вольтметра при измерении ЭДС и напряжений.

Второй характерной особенностью осциллографа в режиме амплитудных измерений является представление информации в виде временной зависимости и измерение напряжения, как амплитудного значения сигнала, привязанного к определенному моменту времени, то есть соответствуют значениям импульсного вольтметра.