

## ВВЕДЕНИЕ

Электронные осциллографы (ЭО) широко применяются для наблюдения форм кривых периодических и непериодических напряжений, а также для измерений мгновенных значений напряжений, интервалов времени, фазовых сдвигов, частоты и других параметров электрических сигналов. Осциллографы можно разделить на две группы – аналоговые (АО) и цифровые (ЦО), принципиально отличающиеся по принципу действия.

Целью данной работы является изучение принципов действия АО и ЦО и их применения для измерения параметров электрических сигналов; в работе также рассматриваются вопросы расчета погрешностей измерений.

### 1. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА



На лабораторном стенде размещены: двухканальный АО типа АСК-1021 и двух канальный ЦО типа TDS1001, генератор сигналов типа ГЗ-131 и источники исследуемых напряжений.

Источники исследуемых напряжений представляют собой генераторы напряжений различной формы, смонтированных внутри лабораторного стенда. На лицевой панели стенда размещены выходные зажимы этих генераторов (зажимы 1-1, 2-2, ... , 6-6).

### 2. АНАЛОГОВЫЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

Упрощенная структурная схема АО представлена на рис. 1. Вид передней панели используемого в работе АО приведен на рис.2. Так как надписи на ней приведены на английском языке, в ниже приведенном описании АО приводится их перевод. Описание органов управления и их назначения с привязкой к функциональным узлам дается при рассмотрении структурной схемы АО и его принципа действия (выделено другим размером шрифта). Для облегчения работы с АО органы управления функционально связанных узлов объединены в сектора, выделенных цветом и обведенных сплошной линией (см. рис.2).

Основными составными частями АО являются:

- 1) электронно-лучевая трубка (ЭЛТ);
- 2) каналы K1 (CH1 ) и K2 (CH2 )
- 3) канал развертки.

Кроме того, в осциллографе имеется еще ряд частей: некоторые из них указаны на схеме, другие отсутствуют (источники питания; блоки, с помощью которых устанавливаются масштабы изображения по вертикали и горизонтали (так называемые калибраторы амплитуды и длительности).

## ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВАЯ ТРУБКА

Простейшая ЭЛТ (рис.1) представляет собой тщательно откаченный стеклянный баллон с электродами. Катод (К), подогреваемый с помощью нити накала (НН), эмитирует электроны, которые под действием поля по-

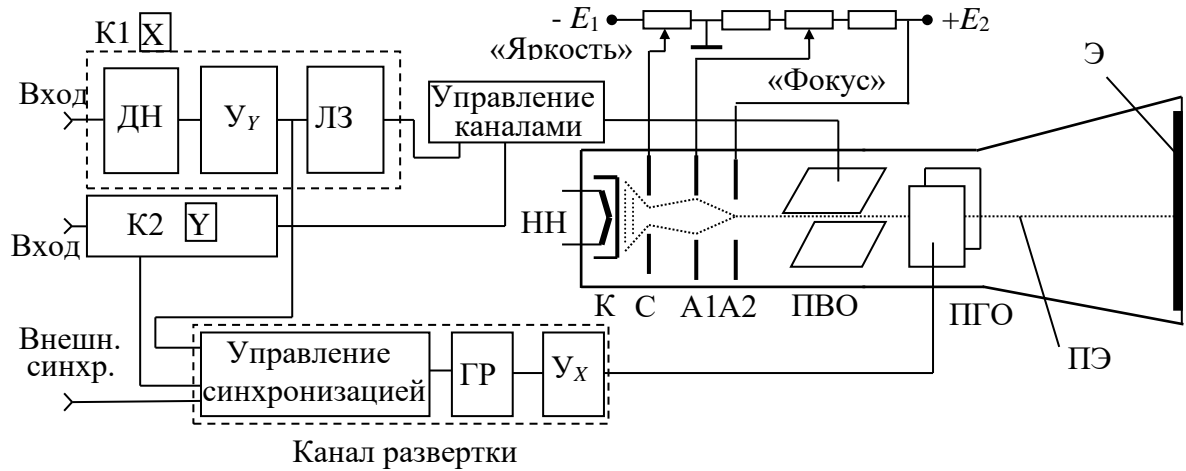


Рис. 1. Структурная схема аналогового осциллографа АСК-1021

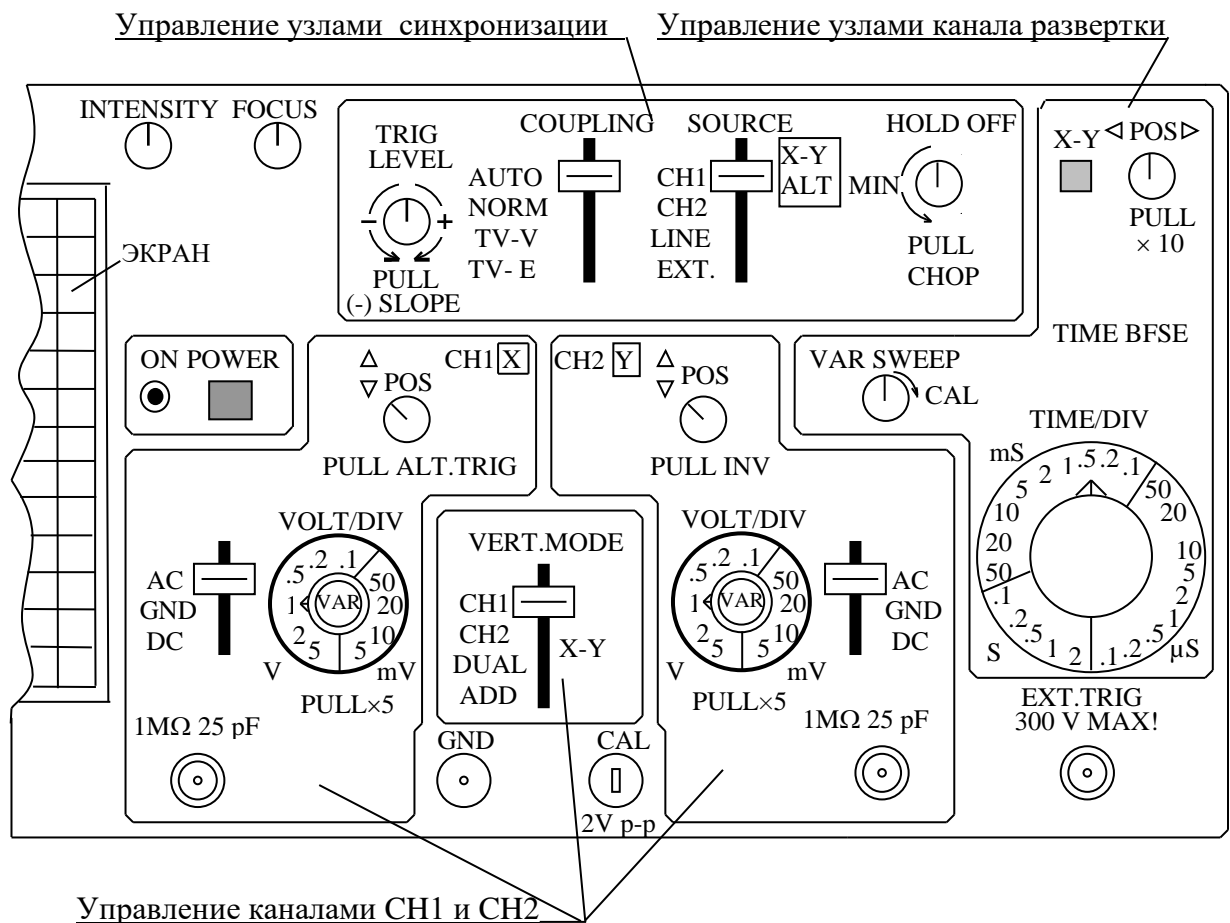


Рис.2. Передняя панель аналогового осциллографа АСК-1021

ложительно заряженных анодов (A1 и A2) устремляются в направлении экрана (Э). На анод A2 подаётся положительное относительно катода напряжение порядка 800 – 3000 В, а на анод A1 – от 20 до 50 % этой величины. Конфигурация электродов, их взаимное расположение и напряжения на анодах выбирают так, чтобы электрическое поле ускоряло и фокусировало поток электронов (ПЭ). Фокусировка осуществляется изменением напряжения на аноде A1, а яркость – изменением напряжения на сетке (С), отрицательного по отношению к катоду.

Эти регулировки выводятся на переднюю панель АО и снабжаются соответствующими надписями (FOCUS-ФОКУС; INTENSITY-ЯРКОСТЬ).

Внутренняя поверхность экрана, на которую направляется электронный луч, покрыта специальным составом (люминофор), светящимся (флюоресцирующим) под действием электронов.

Практически в достаточно широком диапазоне частот можно считать электронный луч безынерционным. Поэтому координаты  $y$  и  $x$  светящегося пятна на экране в любой момент времени пропорциональны мгновенным значениям напряжений  $u_{Y, \text{ЭЛТ}}$  и  $u_{X, \text{ЭЛТ}}$ , приложенным соответственно к пластинам вертикального (ПВО) и горизонтального (ПГО) отклонения.

Чувствительность ЭЛТ, т.е.  $S_Y = y/u_{Y, \text{ЭЛТ}}$  и  $S_X = x/u_{X, \text{ЭЛТ}}$ , составляет 0,2 – 0,5 мм/В и определяется следующим приближенным соотношением:

$$S_{\text{ЭЛТ}} = lL/dU_{A2},$$

где  $l$  – длина пластин в направлении движения электронов;

$L$  – расстояние от середины пластины до Э;

$d$  – расстояние между пластинами;

$U_{A2}$  – напряжение на A2.

#### КАНАЛЫ K1(CH1) И K2(CH2)

Исследуемые напряжения, подаваемые обычно на входы K1, K2, могут иметь значительный динамический диапазон значений (например, от 1 мВ до 100 В).

Для получения приемлемого размера изображения по вертикали в канал вводятся делитель напряжения (ДН) для ослабления напряжений в целое число раз, а для усиления – усилитель постоянного напряжения ( $U_Y$ ), выходной сигнал, которого через узлы управления каналами подается на ПВО.

Если на вход K1 подано исследуемое напряжение, то в соответствии с уравнением (2) координата  $y$  светящегося на экране пятна в любой момент времени пропорциональна мгновенному значению исследуемого напряжения  $u(t)$ :

$$y = K_{\text{дн}} K_Y S_Y u(t) = S_K u(t), \quad (1)$$

где  $K_{дн}$  – коэффициент передачи делителя ДН;

$K_Y$  – коэффициент усиления  $Y_Y$ ;

$S_Y$  – чувствительность трубки по вертикали;

$S_K$  – чувствительность канала.

Величина  $1/S_K = K_{O,Y}$  называется коэффициентом отклонения осциллографа по вертикали и является нормированной величиной для каждого положения переключателя ДН. Она имеет размерность В/дел. Обычно деление равно сантиметру.

Второй канал по составу входящих в него функциональных узлов аналогичен первому.

Органы управления работой каналов находятся в двух симметрично расположенных областях голубого цвета и в области серого цвета, расположенной между ними.

В каждой из первых двух областей имеется:

- 1) Гнездо для подключения входного кабеля с обозначением 1 MΩ 25pF (входное сопротивление и входная ёмкость).
- 2) Рычажный переключатель на три позиции (рис.2):

АС – включается разделительный конденсатор, пропускающий только переменную составляющую входного напряжения (закрытый вход);

GND – входной сигнал отключён, вход замкнут на землю, т.е. общую точку схемы АО;

DC – закорачивается разделительный конденсатор, чем обеспечивая открытый вход для постоянной составляющей входного напряжения.

3) Переключатель с двумя круглыми соосными ручками с обозначением над ним VOLT/DIV (В/дел). Нижняя – на 10 положений со значениями  $K_{O,Y}$  от 5 В/дел (крайнее против часовой стрелки) до 5 мВ/дел (крайнее по часовой). Верхняя (красная) ручка с обозначением VAR обеспечивает две возможности:

а) если её вытянуть на себя, то чувствительность будет увеличена в 5 раз; если, например, переключатель установлен в положение 5 мВ/дел., то при вытянутой ручке значение  $K_{O,Y}$  становится 1 мВ/дел. Этот режим обозначен PULL ×5 под переключателем масштаба (pull – тянуть, ×5 – увеличение чувствительности в 5 раз).

б) поворотом этой ручки можно плавно изменять чувствительность, т.е. размер изображения по вертикали.

**ВНИМАНИЕ!** Установленный масштаб верен только в том случае, если эта ручка повернута до конца по часовой стрелке, что ощутимо по лёгкому щелчку. Перед измерением с использованием масштаба удостоверьтесь, что она находится в этом положении.

4) Ручка POS (положение) с двумя стрелками, направленными вверх и вниз для плавного перемещения изображения вверх или вниз без изменения размеров. Под этой ручкой в канале CH1 расположено обозначение PULL ALT. TRIG, которое надо понимать так: если эту ручку вытянуть на себя (pull), то будет установлен режим попеременного (alternative) запуска (triggering) развёртки напряжениями в каналах 1 и 2. При этом изображения этих напряжений будут неподвижны, даже если их частоты не равны и не кратны. Заметим, что такой режим попеременного запуска является отличительной особенностью данного осциллографа, он предусмотрен далеко не во всех моделях. Под аналогичной ручкой POS в канале CH2 сделано обозначение PULL INV, которое надо понимать так: если эту ручку вытянуть на себя, то изображение сигнала в канале 2 будет инвертировано.

Между двумя голубыми областями находится серая область с рычажным переключателем VERT. MODE (режим по вертикали) на 4 позиции:

- а) CH1 – на экран выведено изображение напряжения, поданного на вход канала 1;
- б) CH2 – то же, но на вход канала 2; в этой позиции справа от переключателя есть ещё второе обозначение  $X - Y$ : переключатель должен находиться в этой позиции в режиме  $X - Y$ ;
- в) DUAL – на экран выведены изображения напряжений, поданных на входы обоих каналов;
- г) ADD – изображение на экране соответствует сумме напряжений, поданных на входы обоих каналов или их разности, если напряжение в канале 2 инвертируется.

### КАНАЛ РАЗВЕРТКИ

Для получения на экране кривой исследуемого напряжения  $u_Y(t)$  в прямоугольной системе координат необходимо, чтобы напряжение, поступающее на ПГО, изменялось в течение некоторого интервала времени по линейному закону  $u(t) = vt$  ( $v$  – скорость изменения напряжения, имеющая размерность В/с). В это время луч должен перемещаться по экрану слева направо.

С этой целью в состав канала вводится генератор развертки (ГР), формирующий так называемое пилообразное напряжение (рис.3). Интервал времени  $t_1$  – время ожидания запуска генератора. В течение  $t_1$  светящееся пятно находится в левой части экрана; координата  $x$  пятна в течение этого интервала времени не изменяется. Интервал времени  $t_r$  называют временем развертки (рабочего) хода луча. В течение  $t_r$  под действием линейно нарастающего напряжения светящееся пятно движется по экрану слева направо с постоянной скоростью. В течение  $t_2$  (времени обратного хода луча) луч движется справа налево в исходное положение. Время  $t_2$  стремятся сделать возможно меньшим, а подачей запирающего импульса отрицательной полярности на сетку ЭЛТ перекрывают поток электронов. Напряжение с ГР усиливается усилителем  $U_X$  и поступает на ПГО.

На интервале времени развертки  $t_r$ , перемещение пятна по горизонтали  $x$  определяется уравнением

$$x = K_X S_X v t = S_P t, \quad (2)$$

где  $K_X$  – коэффициент усиления  $U_X$ ;

$S_X$  – чувствительность трубки по горизонтали.

$S_P$  – чувствительность канала.

Величина  $1/S_P = K_{O,X} = K_r$  называется коэффициентом отклонения осциллографа по горизонтали или коэффициентом развертки. Она является нормированной величиной для каждого значения  $v$  и имеет размерность с/дел.

Уравнения (1) и (2) полностью описывает движение светящегося пятна на экране осциллографа в пределах  $t_r$  для любых напряжений, дейст-

вующих на отклоняющих пластинах одновременно.

Найдя величину  $t$  из уравнения (2) и подставив её в (1), получим:

$$y = K_{\text{дн}} K_Y S_Y u_Y (x / K_X S_X v). \quad (3)$$

Сравнивая (3) с зависимостью исследуемого напряжения  $u_Y$  от времени (1), нетрудно видеть, что координаты изображения  $y$  и  $x$  связаны между собой той же функциональной зависимостью. Постоянные множители  $K_{\text{дн}} K_Y S_Y$  и  $K_X S_X v$  определяют лишь масштаб изображения.

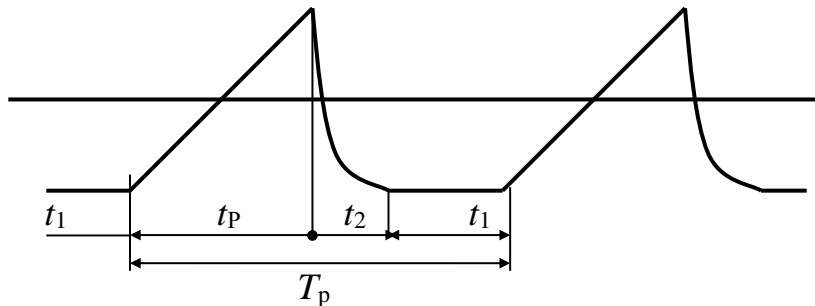


Рис. 3. Напряжение на выходе генератора развертки

В АО предусмотрены два режима работы ГР:

1) автоколебательный режим генератора развертки, при котором развертка происходит без запускающего импульса;

2) ждущая развертка, при которой ГР для выполнения каждого своего цикла (т.е. каждого «зуба пилы») ждёт запускающего синхроимпульса.

При исследовании периодических напряжений изображение на экране будет неподвижным и удобным для наблюдения, если во время каждого прямого хода луча светящееся пятно движется по одной и той же траектории. Это возможно лишь в том случае, когда начало развертки т.е. начало движения луча слева направо и период напряжения развертки  $T_p$  равен или в целое число раз больше периода исследуемого напряжения. Регулируя время рабочего хода  $t_p$  и время ожидания  $t_1$ , можно изменять период  $T_p$  и, следовательно, добиваться неподвижности изображения (время обратного хода луча не регулируется).

На практике периоды исследуемого и развертывающего напряжений обычно нестабильны. Вследствие этого изображение на экране АЭ будет перемещаться. Для получения неподвижного изображения осуществляется жесткая связь (синхронизация) между периодами исследуемого и развертывающего напряжений.

Идея синхронизации в режиме непрерывной развертки, когда  $t_1 = 0$ , заключается в том, что прямой ход луча принудительно заканчивается при вполне определенном мгновенном значении исследуемого напряжения. При этом малое изменение периода исследуемого напряжения автоматически

ведёт к соответствующему изменению периода развёртывающего напряжения. Для осуществления синхронизации исследуемое напряжение, снимаемое с выхода усилителя  $Y$  (переключатель П1 в положении 1- см. рис.1), подаётся на управляющий вход генератора развёртки (“внутренняя синхронизация”). Синхронизация может также осуществляться от внешнего источника напряжения (переключатель П1 в положении 2), частота которого совпадает с частотой исследуемого напряжения или меньше её в целое число раз (“внешняя синхронизация”).

Пусть на вход  $Y$  поступает последовательность одинаковых импульсов напряжения, причём длительность импульса гораздо меньше паузы. Для наблюдения и измерения параметров подобных импульсов режим непрерывной развёртки ГР не удобен, так как практически невозможно получить изображение одного импульса, соизмеримое по горизонтали с размерами экрана ЭО. Такое изображение можно получить, используя ждущий режим работы ГР ( $t_1 \neq 0$ ) с внутренним или внешним запуском.

В ждущем режиме с внутренним запуском генератор развёртки до поступления исследуемого напряжения не работает, “ждёт” (время  $t_1$ ). Момент начала прямого хода луча соответствует определённому уровню (определённому мгновенному значению) и знаку производной исследуемого напряжения. Этот уровень – уровень запуска можно регулировать. Время  $t_p$  прямого хода луча можно устанавливать произвольным. После окончания обратного хода луча генератор развёртки прекращает работу, “ждёт” до тех пор, пока на его управляющий вход вновь не поступит исследуемое напряжение заданного уровня. Выбрав время  $t_p$  соизмеримым с длительностью исследуемого импульса и используя его фронт для запуска ГР, можно растянуть изображение одного импульса или его части на весь экран АО.

Поскольку в ждущем режиме запуск развёртки начинается с некоторым запаздыванием (необходимо некоторое время на достижение сигнала уровня запуска и срабатывание ГР) изображение начальной части сигнала теряется. Для получения полного изображения сигнала вводится линия задержки ЛЗ в канал  $Y$  (см. рис. 1). Регулировкой уровня запуска необходимо добиться того, чтобы задержка запуска ГР была меньше задержки, вносимой ЛЗ.

В ждущем режиме с внешним запуском генератор развёртки работает аналогично, только его запуск осуществляется фронтом или срезом вспомогательного импульса, который может быть сдвинут во времени относительно исследуемого, опережая его. Вспомогательные импульсы подаются на вход внешней синхронизации АО. В этом режиме удаётся более детально рассмотреть и точнее измерить, например, фронт и срез исследуемого импульса.

Органы управления каналом развёртки расположены в голубой области справа, названной (TIME BASE). В ней помещены:

- 1) Переключатель коэффициента горизонтального отклонения TIME/DIV на 23 значения от 2 с/дел. (крайнее положение против часовой стрелки) до 0,1 мкс/дел. (крайнее - по часовой).
- 2) Ручка с обозначением VAR SWEEP (изменение размаха), которой можно плавно изменять скорость развёртки, т.е. сжимать или растягивать изображение по горизонтали. ВНИМАНИЕ! Установленный по горизонтали масштаб верен только в том случае, если эта ручка повернута до конца по часовой стрелке (лёгкий щелчок, обозначение CAL – калибровка).
- 3) Ручка для плавного перемещения изображения направо или налево без изменения размеров. Над ней обозначение POS с двумя стрелками, направленными направо и налево, а под ней обозначение PULL  $\times 10$ , т.е. в вытянутом положении скорость развёртки увеличивается в 10 раз. Если, например, переключатель масштаба установлен в положение 0,1 мкс/дел., то при вытянутой ручке он становится 0,01 мкс/дел. = 10 нс/дел.
- 4) Красная квадратная кнопка с обозначением X – Y. Если её нажать, то будет установлен режим X – Y. а канал развёртки входных напряжений выключается.

Область вверху (серый прямоугольник) относится к синхронизации, т.е. к запуску развёртки. В ней расположены:

- 1) Рычажный переключатель COUPLING (связь) на 4 позиции:
  - а) AUTO – автоколебательный режим генератора развёртки, при котором развёртка происходит без запускающего импульса;
  - б) NORM – ждущая развёртка, при которой генератор развёртки для выполнения каждого своего цикла (т.е. каждого «зуба пилы») ждёт запускающего синхроимпульса;
  - в) TV – V и TV – H – используются при наблюдении телевизионных сигналов ( в работе не используются).
- 2) Рычажный переключатель SOURCE (источник) на 4 позиции:
  - а) CH1 – внутренняя синхронизация сигналом канала 1; у этой позиции справа от переключателя есть ещё два обозначения X – Y и ALT.: переключатель должен быть поставлен в эту позицию в режимах X – Y и ALT. TRIG.
  - б) CH2 – внутренняя синхронизация сигналом в канале 2;
  - в) LINE – внутренняя синхронизация сетевым напряжением;
  - г) EXT – внешняя синхронизация.
- 3) Ручка плавной регулировки уровня запуска с обозначением над ней TRIG. LEVEL (triggering – запуск, level – уровень). Она позволяет устанавливать тот уровень сигнала, по достижении которого начинается очередной цикл ждущей развёртки. Если риска находится в правой части окружности, то этот уровень положительный (обозначен +), если в левой – отрицательный (обозначен –). Под этой ручкой имеется обозначение PULL (–) SLOPE, которое надо понимать так: если её вытянуть, то запуск будет производиться не фронтом, а спадом импульса; иногда это называют знаком синхронизации, т.е. фронт – это плюс, а спад – минус. Но этот знак нельзя путать со знаком уровня запуска: уровень может быть отрицательный, а запуск, если ручка не вытянута, будет происходить при возрастании сигнала, и наоборот. Сигналы на рис. 4 поясняют принципы управления синхронизацией.
- 4) Ручка плавной регулировки паузы между следующими друг за другом циклами развёртки с обозначением над ней HOLD OFF (hold off – удерживать, т.е. удерживание очередного цикла). Поворот против часовой стрелки уменьшает паузу. При этом повышается яркость изображения: луч чаще пробегает по своему пути на экране. Обычно имеет смысл устанавливать минимальную паузу, для чего нужно повернуть ручку HOLD



OFF до конца против часовой стрелки. Увеличение паузы может понадобиться при исследовании сложно изменяющихся напряжений, таких, например, как показанное на рис.5.

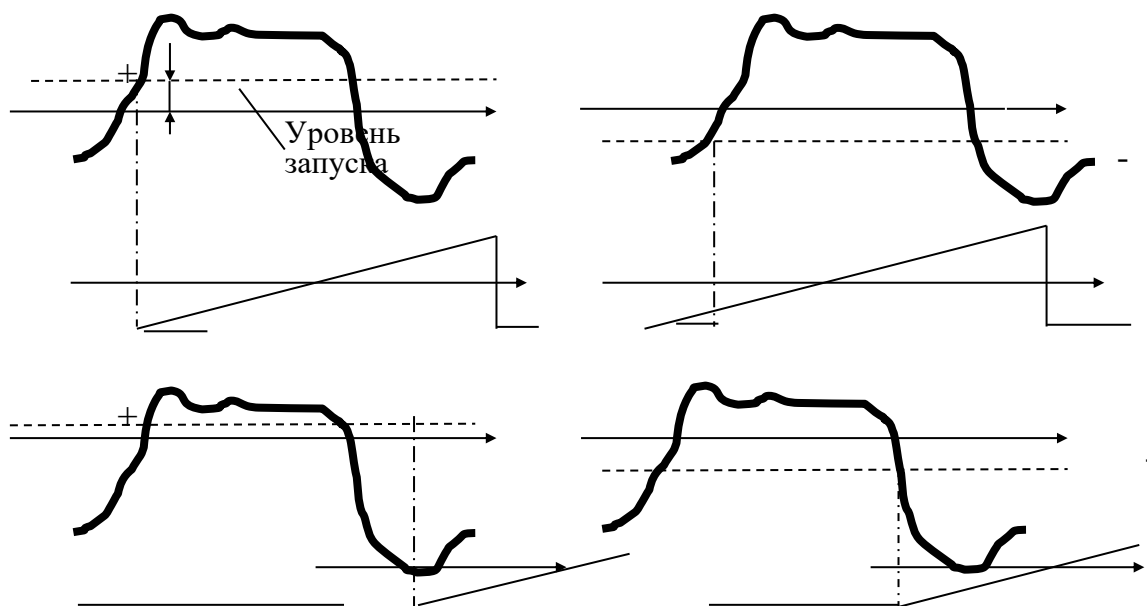


Рис.4. Уровень и знак синхронизации: левые рисунки – риска ручки TRIG LEVEL в правой половине окружности, правые – в левой; верхние рисунки – ручка утоплена (не вытянута), нижние – вытянута.

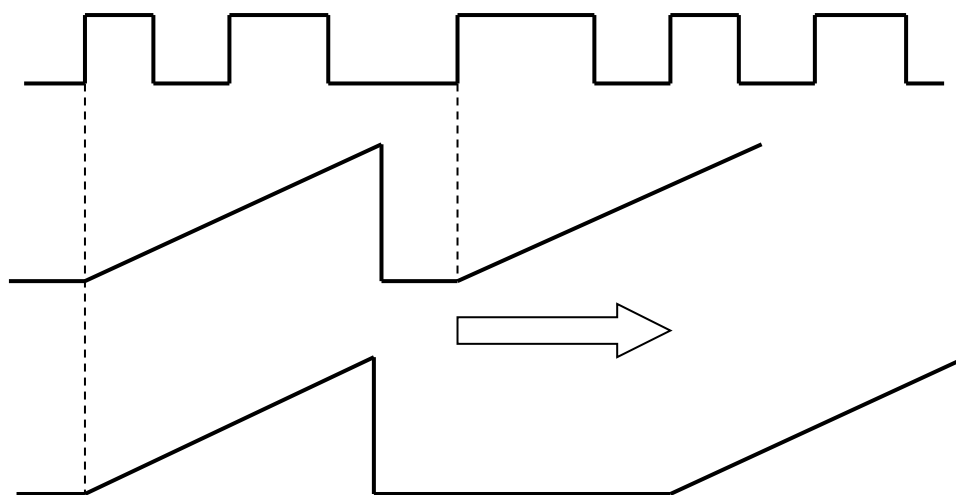


Рис. 5. К пояснению смысла регулировки HOLD OFF.

### 3. ЦИФРОВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ

#### СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЦО

Более широкие возможности при исследовании сигналов предоставляются при применении ЦО.

На рис. 6 в предельно упрощенном виде показана структурная схема цифрового осциллографа (ЦО).

Пройдя через масштабирующее устройство (МУ), аналогичное такому же, что и в АО, входное напряжение  $u(t)$  преобразуется аналого-цифровым преобразователем (АЦП) в дискретную последовательность кодовых слов  $N_i$ , отображающих мгновенные значения  $u_i$  этого напряжения. Каждое новое кодовое слово записывается в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ). При этом все предыдущие записанные отсчёты сдвигаются на одну ячейку (регистр сдвига), а самый первый  $N_1$  исчезает, как бы «выталкивается».

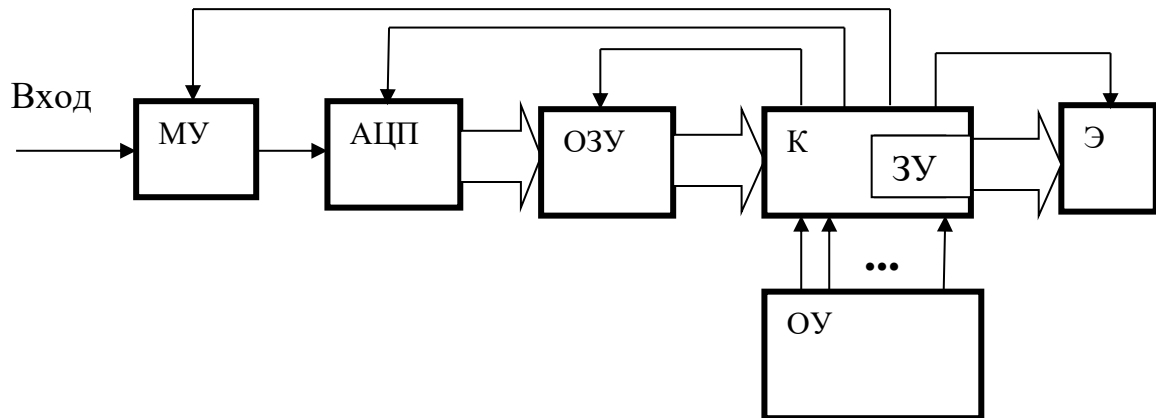


Рис. 6. Упрощенная структурная схема цифрового осциллографа TDS1001

Если ОЗУ состоит из  $M$  ячеек, то в нём, постоянно обновляясь, содержится  $M$  последних, «свежих», кодовых слов. Так продолжается до тех пор, пока не будет выполнено некое заданное условие, например, когда какое-либо  $u_i$  впервые превысит заданный оператором уровень («запуск по уровню»). После этого содержимое некоторого количества ячеек ОЗУ переписывается в запоминающее устройство (ЗУ), входящее в состав контроллера (К).

Каждой ячейке ЗУ соответствует точка на экране по цвету отличающаяся от фона. Её абсциссу определяет номер ячейки, а ординату кодовое слово  $N_i$ , находящееся в этой ячейке.

Для хорошего изображения сигнала на экране вполне достаточно 2 точки на 1 мм. Средних размеров экран имеет высоту 100 мм и ширину 120 мм. Следовательно, на экране должны располагаться  $200 \times 240 = 48\,000$  точек или более.

Таким образом, для формирования хорошего изображения АЦП должен иметь не менее 8 двоичных разрядов (256 точек по вертикали) и ЗУ должно содержать 256 ячеек.

Но количество ячеек ОЗУ гораздо больше. Это позволяет запоминать в ОЗУ очень много кодовых слов, а потом «вытягивать» их порциями, соответствующими ширине экрана. В аналоговых осциллографах это,

конечно, невозможно. Для обозначения запаса по оси времени («глубина памяти») иногда пользуются такой оценкой длительности сигнала, данные о котором записаны в ОЗУ: «число экранов». Например, «8 экранов» означает, что объём памяти ОЗУ не 256, а 2048 ячеек, в которых записано 2048 кодовых слов  $N_i$ . Каждое  $N_i$  – это 8-разрядный код, т.е. один байт, т.е. «8 экранов» – это объём памяти в 2 килобайта. Можно вообразить очень широкий экран-ленту – в 8 раз шире натурального, но такой же высоты. На такой ленте было бы записано изображение всего сигнала. Длина этой ленты около одного метра.

Ещё одно принципиальное отличие от АО состоит в том, что в ЦО можно видеть предысторию сигнала до появления импульса запуска. Это называют «предзапуском». Кодовые слова переписываются из ОЗУ в ЗУ так, что в момент появления импульса запуска первой ячейкой ЗУ будет та, что даёт точку на вертикальной линии, проходящей через центр экрана, последующие точки располагаются направо от неё, предыдущие – налево. Положение первой ячейки можно смещать влево или вправо от центра и тем самым соответственно уменьшать или увеличивать видимый интервал предыстории.

Частоту дискретизации (частоту «выборок») можно изменять в широких пределах, что соответствует изменению масштаба по горизонтали и аналогично изменению скорости развёртки в АО.

Для изменения масштаба по вертикали, как и в аналоговых осциллографах, можно изменять коэффициенты усиления или деления входного усилителя или делителя напряжения.

ЦО помимо обычных органов управления (ОУ - кнопки, ручки) для задания режимов измерения снабжаются развитым программным обеспечением. Это позволяет выполнять различные математические операции: растягивать во времени фрагменты записанного в память сигнала, производить цифровые измерения параметров исследуемых сигналов, складывать и вычитать сигналы в разных каналах, определять частотный спектр сигнала путём применения быстрого преобразования Фурье и проч.

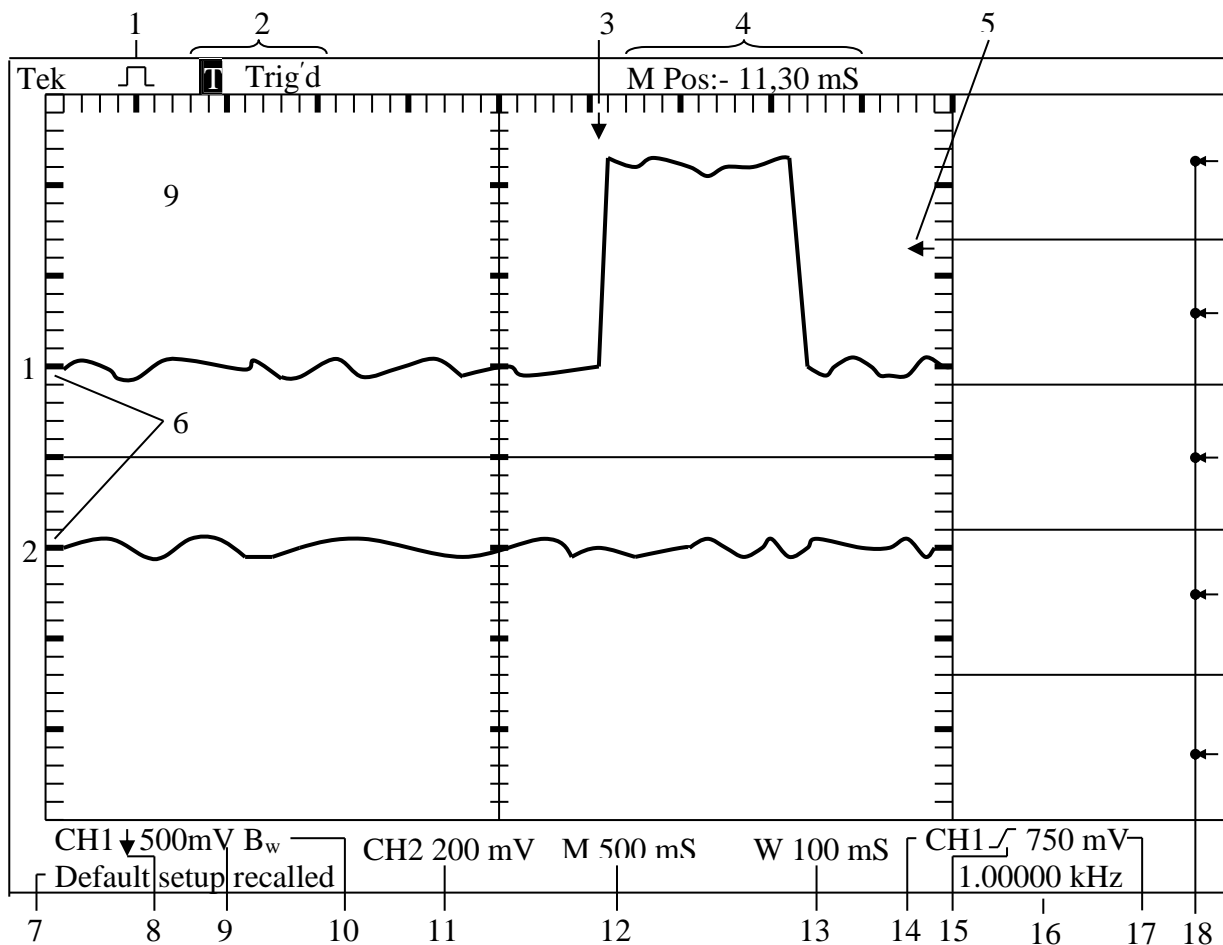
### *ЭКРАН И ОРГАНЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСЦИЛЛОГРАФОМ*

На лицевой панели осциллографа в правой ее части расположен экран, а в левой - расположены органы управления – кнопки и ручки, а также разъёмы (рис. 7 и рис. 8).

На экране ЦО кроме изображения сигналов отображаются сведения о сигналах и параметрах управления. На рис. 7 приведен пример возможного получаемого изображения и даны краткие пояснения назначения значков и надписей на экране.

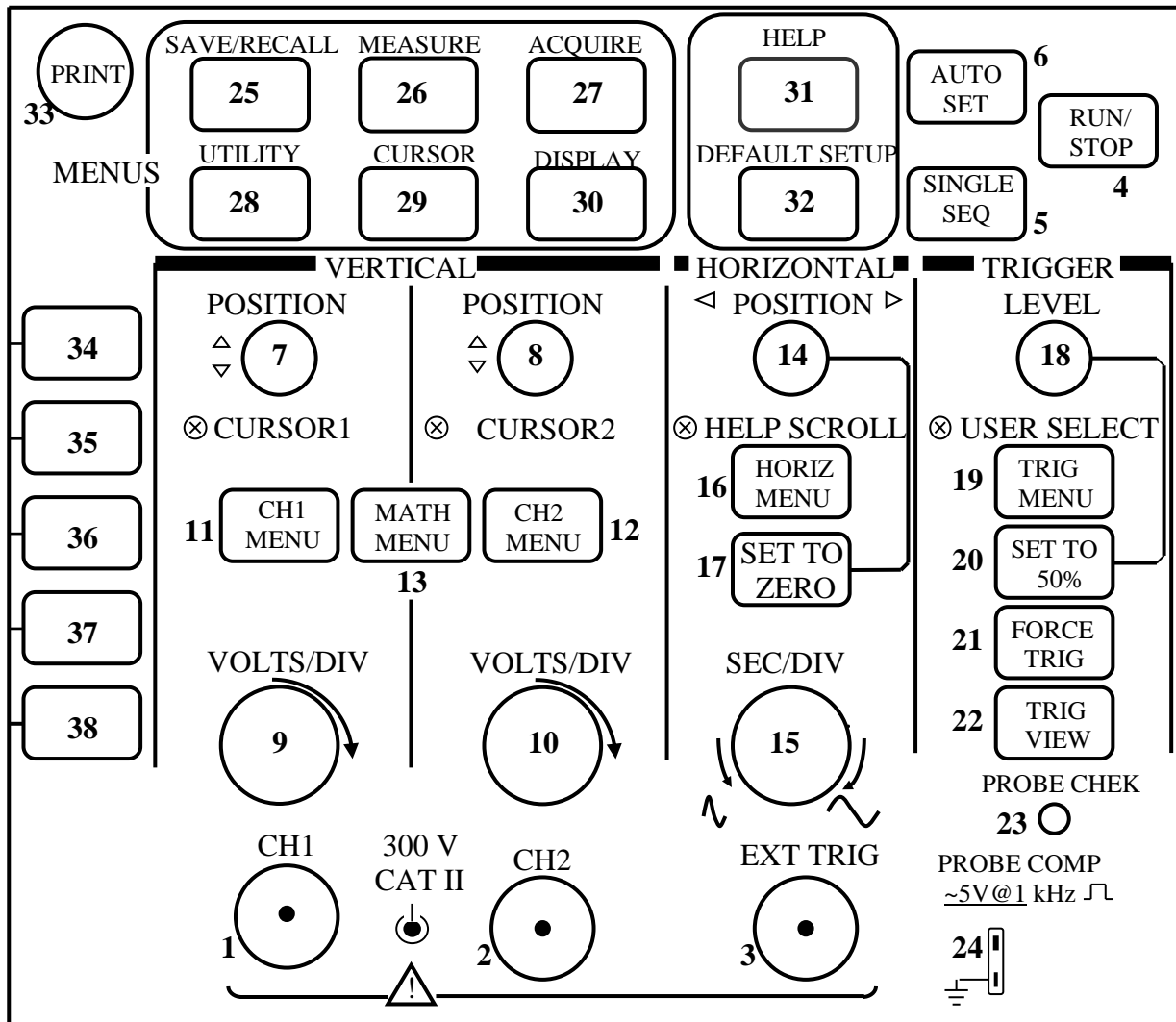
Режимы работы и проведение тех или иных измерений обеспечивается необходимым программным обеспечением ЦО, а его интерфейс позволяет получить быстрый доступ к их реализации через

развитую структуру меню. Конкретные указания по проведению измерений даны в методических указаниях.



- 1 - режим сбора данных:  $\square$  - режим усреднения или другие;
- 2 - состояние запуска: например, **T** Trig'd – запуск произошел, заполняется память;
- 3 - момент запуска и его сдвиг от центра экрана, устанавливается ручкой «HORIZONTAL <POSITION> »;
- 4 – длительность сигнала;
- 5 – маркер указывает уровень синхронизации по фронту;
- 6 - положения нулевых уровней 1-го и 2-го каналов;
- 7 - место для сообщений (некоторые сообщения видны только 3 с);
- 8 –значок появляется при инвертировании сигнала;
- 9,11- значения коэффициентов отклонения по вертикали для CH1 и CH2;
- 10 -  $B_w$  указывает на ограничение полосы пропускания;
- 12 - значение коэффициента отклонения по горизонтали; M –отображение всей записанной серии;
- 13 - W – значение коэффициента отклонения по горизонтали в растянутом отображение, если оно используется;
- 14 – источник сигнала синхронизации;
- 15 – тип синхронизации (по нарастающему или спадающему фронту);
- 16 – значение частоты синхронизации;
- 17 - значение уровня запуска по фронту;
- 18 - информационные секторы экрана для вывода сообщений меню нажатием кнопок 34 –38.

Рис. 7. Экран цифрового осциллографа.



1 - CH1, 2 - CH2 – входы каналов 1 и 2;

3 – EXT TRIG (ВНЕШ СИНХ, сокр. от External Trigger), – вход для внешней синхронизации;

4 – RUN/STOP (ПУСК/СТОП)– сигналы регистрируются непрерывно или сбор данных приостанавливается (режимы чередуются при повторных нажатиях кнопки);

5 – SINGLE SEQ (ОДИНОЧН ЗАПУСК ,сокр. от Sequence Single) – разовый (не повторяющийся) запуск; режим используется для одиночных, не повторяющихся сигналов;

6 – AUTO SET (АВТО УСТ) – получение изображения с автоматически установленными масштабами и положением по вертикали и горизонтали; режим очень удобен для быстрого получения устойчивого изображения сигнала;

7; 8 – POSITION (ПОЛОЖЕНИЕ) или CURSOR (КУРСОР) – установка положения по вертикали изображений сигналов в каналах 1 и 2 (установка положения по вертикали действует так же, как в аналоговых осциллографах); ; альтернативная функция этих ручек – установка положения курсоров 1 и 2 – действует после нажатия кнопки 29 (при этом светятся соответствующие индикаторы);

- 9; 10** – VOLT/DIV (ВОЛЬТ/ДЕЛ) – установка значений коэффициентов отклонения по вертикали в каналах 1 и 2; действует так же, как в АО, с той только разницей, что значения установленного коэффициента прочитывается не по положению ручки, а индицируются внизу экрана;
- 11,12** – MENU (МЕНЮ) CH 1 и CH 2 - вызов меню каналов;
- 13** – MATH MENU (сокр. от Mathematics), – вызов меню математических функций (сложение или вычитание сигналов в каналах; быстрое преобразование Фурье сигнала в каналах);
- 14** – POSITION или HELP SCROLL – установка положения по горизонтали изображений сигналов в каналах; альтернативная функция этой ручки – прокрутка справки – действует после нажатия кнопки 31 (при этом светится соответствующий индикатор);
- 15** – SEC/DIV – установка масштаба по горизонтали; действует так же, как в АО, с той только разницей, что значения установленного коэффициента прочитываются не по положению ручки, а индицируются внизу экрана; в зависимости от выбранного варианта горизонтального меню (кнопка **16**) эта ручка устанавливает масштаб в основном режиме (Main) или в режиме растяжки (назван «зоной окна» – Window Zone);
- 16** – HORIZ MENU (ГОРИЗ МЕНЮ) – вызов меню развёртки изображения по горизонтали;
- 17** – SET TO ZERO (УСТ НУЛЬ) – установка момента запуска в середину экрана (установка «нуля»);
- 18** – LEVEL или USER SELECT (УРОВЕНЬ или ВЫБОР ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ) – установка уровня запуска. При запуске по уровню эта ручка устанавливает уровень напряжения, по достижении которого на фронте (или на спаде) происходит запуск. Альтернативные функции этой ручки используются в работе не используются. Выбор типа синхронизации производится кнопкой 34 после вызова меню кнопкой 19;
- 19** – TRIG MENU (МЕНЮ СИНХ) – вызов меню синхронизации;
- 20** – SET TO 50 % (УСТ 50 %) – установка уровня напряжения при запуске по уровню, соответствующего середине между максимальным и минимальным значениями сигнала для быстрого получения устойчивого изображения;
- 21** – FORCE TRIG (ФОРС ЗАПУСК)– форсированный запуск, используемый для того, чтобы завершить сбор данных, даже если условие запуска не выполнено;
- 22** – TRIG VIEW (ПРОСМ ИМП СИНХ) – просмотр на экране импульса синхронизации;
- 23** – PROBE CHECK (ПРОВЕРКА ПРОБН)– кнопка, которую надо нажать при проверке пробника (в лабораторной работе пробники не используются);
- 24** – PROBE COMP (КОМПЕНС ПРОБН) (сокр. от Compensation) – вывод источника импульсного напряжения для проверки пробника и его настройки (в работе не производится);
- 25** – SAVE/RECALL (СОХР/ВЫЗОВ)– вызов меню сохранения в памяти и вызова из памяти настроек или изображений сигнала;
- 26** – MEASURE (ИЗМЕРЕНИЯ)– вызов меню автоматически выполняемых осциллографом измерений (11 параметров сигнала);
- 27** – ACQUIRE (СБОР ДАННЫХ) – вызов меню сбора данных;
- 28** – UTILITY (СЕРВИС) – вызов сервисных меню;
- 29** – CURSOR (КУРСОР) – вызов меню курсорных измерений;
- 30** – DISPLAY (ЭКРАН) – вызов меню режима работы экрана;
- 31** – HELP (СПРАВКА) – вызов справочного материала об осциллографе;
- 32** – DEFAULT SETUP (НАСТРОЙКА ПО УМОЛЧАНИЮ) – установка настройки, предусмотренной изготовителем;

**33** –PRINT (ПЕЧАТЬ) – вывод всех данных, имеющихся на экране на принтер или компьютер только при установленном в осциллограф модуле;

**34 ÷ 38** – экранные кнопки для вызова меню в информационных секторах экрана.

Рис. 8. Органы управления ЦО.

#### 4. ЗАДАНИЕ

1. Измерить следующие параметры сигнала на зажимах 1-1:
  - 1.1. Измерить с помощью АО полный размах и период сигнала;
  - 1.2. Измерить с помощью ЦО полный размах и период сигнала;
  - 1.3. Измерить с помощью ЦО среднеквадратическое значение сигнала.
2. Измерить параметры импульсного напряжения на зажимах 2-2: длительность импульса, амплитуду импульса, амплитуду выброса, длительность фронта, длительность среза.
  - 2.1. Измерить с помощью АО эти параметры сигнала на зажимах 2-2;
  - 2.2. Измерить с помощью ЦО эти параметры сигнала на зажимах 2-2.
3. Измерить частоту напряжения на зажимах 3-3:
  - 3.1. Измерить с помощью АО частоту двумя методами: косвенно, измерив период этого напряжения, и методом фигур Лиссажу;
  - 3.2 Измерить с помощью ЦО частоту следующими методами: прямым, косвенным и методом фигур Лиссажу.
4. Измерить амплитуду 1-ой гармоники прямоугольного напряжения с частотой, заданной преподавателем. Найти значение частоты 1-ой и 3-ей гармоник.
5. Измерить амплитуду 1-ой и 3-ей гармоник на зажимах 4 – 4 или 5 – 5.
6. Рассчитать погрешности проведенных измерений и составить отчет по требуемой форме.

#### 5. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

##### 5.1. Измерение мгновенных значений напряжений

Возможность измерения мгновенных значений напряжений – одно из основных достоинств осциллографов. При использовании откалиброванных осциллографов измерение напряжения сводится к измерению длины линейного отрезка, соответствующего измеряемому напряжению, и умножению его на коэффициент отклонения по вертикали (см. (1)), т.е.

$$u_Y = l_Y K_{O,Y}$$

##### 5.2. Измерение интервалов времени

ЭО широко применяются для измерений интервалов времени между точками на оси времени. При использовании откалиброванных осциллографов для этого достаточно измерить длину линейного отрезка, соответствующего измеряемому интервалу времени, умножить его на коэффициент отклонения по горизонтали или коэффициент развертки см. (2)), т.е.

$$t_X = l_X K_{O,X} = l_X K_P$$

### 5.3. Измерение частоты

Измерение частоты с помощью ЭО широко распространено, несмотря на наличие цифровых частотомеров. Измерение частоты исследуемого напряжения обычно сводят к измерению интервала времени, т.е. периода. Подобное измерение целесообразно производить при сложной форме исследуемого напряжения, так как в этом случае не всегда можно использовать частотомер.

При измерении частоты синусоидального напряжения часто используют метод фигур Лиссажу. Пусть на вход  $Y$  (канал, отклоняющий луч по вертикали) подано напряжение неизвестной частоты  $f_Y$ , а на вход  $X$  – напряжение плавно регулируемой известной частоты  $f_X$  (канал, отклоняющий луч по горизонтали, при этом предварительно необходимо отключить генератор развёртки). Регулировкой частоты  $f_X$  нужно добиться неподвижного изображения на экране – фигуры Лиссажу, что достигается, когда отношение частот будет соответствовать отношению целых чисел. Частота  $f_Y$  находится из соотношения

$$f_Y / f_X = N_X / N_Y, \text{ т.е. } f_Y = f_X N_X / N_Y,$$

где  $N_X$  – наибольшее число точек пересечения фигуры Лиссажу горизонтальной секущей, а  $N_Y$  – вертикальной. В частном случае, когда  $f_Y = f_X$ , фигура Лиссажу представляет собой эллипс.

Практически стремятся установить такую фигуру, для которой числа  $N_Y$  и  $N_X$  достаточно малы. В противном случае расшифровка фигуры становится затруднительной.

Точность измерения частоты рассмотренным методом не зависит от свойств осциллографа (частотного диапазона, чувствительности, размеров экрана и т.д.), а целиком определяется точностью, с которой известна образцовая частота.

### 5.4. Общие замечания при работе с АО АСК-1021

#### 5.4.1. Исходное положение кнопок и ручек

- Кнопки POWER и X – Y не нажаты.
- Все семь ручек, обозначения под которыми начинаются со слова PULL, утоплены, т.е. не вытянуты.
- Три ручки в голубых областях: две красных с обозначением VAR в областях каналов 1 и 2 и ручка VAR SWEEP в области развёртки установлены в крайнее положение по часовой стрелке до щелчка.
- Ручка HOLD OFF в области синхронизации установлена в крайнее положение против часовой стрелки.
- Ручки INTENSITY, FOCUS, все три POS, TRIG LEVEL примерно в средних положениях.

#### 5.4.2. Настройка

- Установите переключатели в указанные позиции:

AC-GND-DC (каналов CH1 или CH2)  $\Rightarrow$  GND

VERT MODE  $\Rightarrow$  CH1 или CH2



COUPLING  $\Rightarrow$  AUTO

SOURCE  $\Rightarrow$  CH1 или CH2

- Нажмите красную кнопку POWER в чёрной области; если всё в порядке, слева от неё должен засветиться красный индикатор ON.
- Примерно через 20 секунд на экране должна появиться горизонтальная линия. Ручкой POS в области канала CH1 установите её в середине экрана.
- Ручкой INTENSITY отрегулируйте яркость, а ручкой FOCUS сфокусируйте эту линию.
- **ВНИМАНИЕ!** Чем меньше яркость, тем острее можно сфокусировать изображение, т.е. тем тоньше будет линия и точнее измерения.

#### 5.4.3. Одноканальный режим

Присоедините кабель с исследуемым напряжением к гнезду 1 M $\Omega$  25 pF одного из каналов.

- Установите переключатели в указанные позиции:

AC-GND-DC  $\Rightarrow$  AC или DC

VERT MODE  $\Rightarrow$  CH1 или CH2

COUPLING  $\Rightarrow$  NORM

SOURCE  $\Rightarrow$  CH1(CH2) или LINE или EXT

- Установите переключатель масштаба по вертикали VOLT/DIV в канал в положение 5 В/дел, а переключатель масштаба по горизонтали TIME/DIV в положение 0,5 мс/дел.
- Поворачивая ручку переключателя VOLT/DIV по часовой стрелке, выберите такое её положение, при котором измеряемый по вертикали отрезок, например, соответствующий размаху (двойной амплитуде) синусоиды займёт как можно большую часть экрана по вертикали. При этом пользуйтесь ручкой POS в канале для перемещения изображения вверх – вниз без изменения размеров.
- Поворачивая ручку переключателя TIME/DIV в ту или другую сторону, выберите такое её положение, при котором измеряемый по горизонтали отрезок, например, соответствующий периоду синусоиды займёт как можно большую часть экрана. При этом пользуйтесь ручкой POS в области развёртки для перемещения изображения вправо – влево без изменения размеров.

#### 5.4.4. Двухканальный режим

- Присоедините кабели с исследуемыми напряжениями к гнездам M $\Omega$  25pF в каналах CH1 и CH2
- Установите переключатели в позиции:  
AC-GND-DC  $\Rightarrow$  AC или DC  
VERT MODE  $\Rightarrow$  CH1 или CH2  
COUPLING  $\Rightarrow$  NORM  
SOURCE  $\Rightarrow$  CH1(CH2) или LINE или EXT
- Регулировками VOLT/DIV по обоям каналам и TIME/DIV добиться приемлемого масштаба изображения по вертикали и горизонтали.

#### 5.4.5. Двухканальный режим X – Y

- Присоедините кабели с исследуемыми напряжениями к гнездам M $\Omega$  25pF в каналах CH1 и CH2
- Нажмите красную кнопку X – Y.
- Переключателями VOLT/DIV выберите подходящий размер фигуры Лиссажу, а ручками POS в каналах CH1 и CH2 – её расположение на экране.

5.5. Рекомендации по работе с ЦО TDS-1001 даны в соответствующих пунктах методических указаний.

5.6. Выполнение пункта 1.1 - измерение с помощью АО полного размаха и периода сигнала на зажимах 1-1

- Установить  $AC-GND-DC \Rightarrow AC$ .
- Выполнить указания пунктов 5.4.1 – 5.4.3 и получить устойчивое и максимально масштабное изображение сигнала. Измерить линейные отрезки, соответствующие полному размаху напряжения и периоду сигнала. Рассчитать измеренные параметры.

5.7. Выполнение пунктов 1.2. и 1.3 – измерение с помощью ЦО полного размаха, периода и среднеквадратического значения на зажимах 1-1

- Включить питание ЦО.
- Нажмите кнопку CH1 MENU (11) установить для параметра Probe значение «1X» последовательным нажатием кнопки 37.
- Подать на вход CH1 сигнал 1-1.
- Нажать кнопку AUTOSET (6), изображение устанавливается автоматически; для получения оптимального максимально масштабного изображения используйте регулировки коэффициентов отклонения по вертикали (9) и горизонтали (15).
- Нажать кнопку Measure (26).
- Кнопкой 34 установить в секторе экрана Source CH1
- Последовательным нажатием кнопки 35 провести измерение периода (Period), полного размаха (Pk-Pk), среднеквадратического значения (Cyc RMS), а также следующих величин: Freq (частоты), Mean (среднее значение), Max (максимум), Min (минимум), Rise Time (время нарастания), Fall Time (время спада), Pos Width (длительность положительного импульса), Neg Width (длительность отрицательного импульса). При выполнении этого пункта можно ограничиться измерением только величин Period, Pk-Pk, Cyc RMS.

5.8. Выполнение пункта 2.1 - измерение с помощью АО параметров сигнала на зажимах 2-2

- Переключатель  $AC-GND-DC \Rightarrow DC$
- Выполнить указания пунктов 5.4.1 – 5.4.3 и получить устойчивое и максимально масштабное изображение сигнала.
- Измерить линейные отрезки, соответствующие высоте плоской вершины импульса  $U_{\text{и}}$ , высоте выброса  $U_{\text{в}}$ , длительности импульса  $\tau_{\text{и}}$  (см. рис. 9). При измерении  $\tau_{\text{ф}}$  регулировками утопленной ручки TRIG LEVEL и ручкой TIME/DIV получить максимальную растяжку фронта. При измерении  $\tau_{\text{с}}$  регулировками оттянутой TRIG LEVEL и ручкой TIME/DIV получить максимальную растяжку среза  $\tau_{\text{с}}$ .

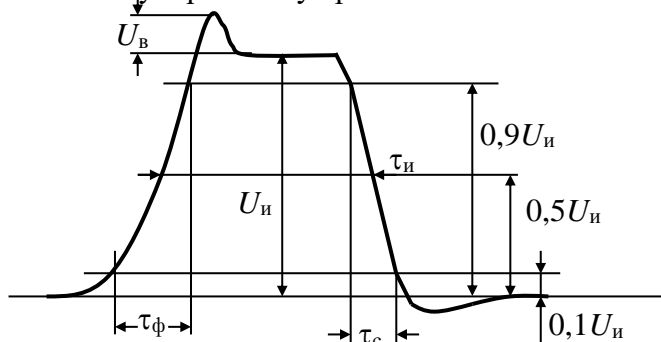


Рис.9. К выполнению пунктов 2.1 и 2.2

### *5.9. Выполнение пункта 2.2 - измерение с помощью ЦО параметров сигнала на зажимах 2-2*

- Нажмите кнопку CH1 MENU (11) установить кнопкой 34 для параметра Coupling значение DC, а для параметра Probe - значение «1X» последовательным нажатием кнопки 37.
- Нажмите кнопку CURSOR (29).
- Кнопкой 34 для параметра TYPE установить значение Voltage.
- Регулировками ручек 7 и 8 помещать курсоры на концах измеряемых отрезков.
- В секторах экрана Delta, Cursor1, Cursor2 считать необходимые значения измеряемых величин, т.е.  $U_H$  и  $U_B$ .
- При измерении временных параметров импульса кнопкой 34 для параметра TYPE установить значение Time и соответствующими перемещениями курсоров вдоль оси времени измерить  $\tau_n$ ,  $\tau_f$  и  $\tau_c$ .

### *5.10. Выполнение пункта 3.1 - измерение с помощью АО частоты косвенным методом и методом фигур Лиссажу на зажимах 3-3*

#### *а) Косвенный метод*

- Подключить сигнал 3-3 к входу CH1 или CH2
- Переключатель  $AC-GND-DC \Rightarrow AC$
- Выполнить указания пунктов 5.4.1 – 5.4.3 и получить устойчивое и максимально масштабное изображение сигнала. Измерить линейный отрезок, соответствующий периоду сигнала. Рассчитать период и частоту сигнала.

#### *б) Метод фигур Лиссажу*

- Переключатели CH1 и CH2  $AC-GND-DC \Rightarrow AC$
- Подключить сигнал 3-3 к входу CH1 или CH2
- Подать на входы CH2 или CH1 синусоидальный сигнал с выхода ГЗ-131
- Нажмите красную кнопку X – Y
- Переключателями VOLT/DIV выберите подходящий размер фигуры Лиссажу, а ручками POS в каналах CH1 и CH2 – её расположение на экране.

### *5.11. Выполнение пункта 3.2 - измерение с помощью ЦО частоты следующими методами: прямым, косвенным и методом фигур Лиссажу на зажимах 3-3*

- Нажмите кнопки CH1 MENU (11) и CH2 MENU (12) и установите для каждого из каналов для параметров Probe значение 1X
- Подключить сигнал 3-3 к входу CH1 или CH2
- Подать на входы CH2 или CH1 синусоидальный сигнал с выхода ГЗ-131
- Нажмите кнопку AUTOSET (6)
- Переключателями VOLT/DIV (9,10) примерно выровнять амплитуды отображаемых сигналов
- Нажмите кнопку DISPLAY (30)
- Нажмите кнопку 36 и в секторе экрана Format установите параметр XY
- Регулировкой частоты сигнала с выхода ГЗ-117 добиться неподвижной и достаточно простой фигуры Лиссажу; рассчитать значение измеряемой частоты

### *5.12. Выполнение пункта 4 - измерение ЦО спектра сигнала прямоугольной формы с частотой, заданной преподавателем*

Разложение напряжения прямоугольной формы со скважностью 2 в ряд Фурье имеет вид:

$$u = \frac{4U_m}{\pi} \left( \sin \omega t + \frac{\sin 3\omega t}{3} + \frac{\sin 5\omega t}{5} + \dots \right),$$

где  $U_m$  – максимальное значение импульсного напряжения.

- Подключить сигнал прямоугольной формы Г117 к входу CH1 или CH2.
- Нажмите кнопку AUTOSET (6).
- Последовательным нажатием кнопки 34 установить кнопкой для параметра Operation значение FFT.
- Нажмите кнопку MATH Menu (13).
- Кнопкой 37 в секторе Window установить Flattop.
- Ручкой SEC/DIV (15) удобную картинку спектра.
- Нажмите кнопку CURSOR (29)
- В секторе Type кнопкой 34 установить значение Magnitude.
- Поворачивая ручку CURSOR (7) совместить перемещающийся курсор с самой высокой точкой спектральной линии и в секторе экрана Cursor 1 прочесть значение в dB. Уровень 0 дБ соответствует среднеквадратическому значению напряжения 1 В, поэтому перевод полученного числа в значение амплитуды первой гармоники в вольтах рассчитывается так:

$$U_{m1} = 10^{\frac{dB}{20}} \sqrt{2}.$$

Сравнить с  $U_{m1}=4U_m/\pi$ , где  $U_m$  – амплитуда импульса.

По оси X определить частоту 1-ой и 3-ей гармоник.

*5.13. Выполнение пункта 5 - измерение ЦО спектра сигнала на зажимах 4 – 4 или 5 – 5.*

## 6. РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЯ

1. Погрешности измерений мгновенных значений напряжения и временных интервалов определяются по формулам:

$$\delta_U = \pm (|\delta_{ly}| + |\delta_{Koy}|) \text{ и } \delta_t = \pm (|\delta_{lx}| + |\delta_{Kox}|).$$

Предел допускаемой относительной визуальной погрешности измерения напряжения  $\delta_l$  определяют по формуле

$$\delta_l = 0,4b100\%/l,$$

где  $b$  – ширина линии луча;

$l$  – длина отрезка, соответствующего измеряемой величине, мм.

2. Погрешность измерения амплитуды импульсов прямоугольной формы определяется:

- погрешностью коэффициента отклонения  $K_{oy}$ ;
- неравномерностью переходной характеристики канала;
- визуальной погрешностью.

Предел допускаемой относительной погрешности измерения амплитуды импульсов прямоугольной формы  $\delta_U$  определяют по формуле

$$\delta_{Uн} = \pm (|\delta_l| + |\delta_{Koy}| + |\delta_n|)$$

где  $\delta_{Koy}$  – предел допускаемой относительной погрешности коэффициента отклонения;

$\delta_n$  – предел допускаемой неравномерности переходной характеристики.

Погрешность измерения длительности импульсов прямоугольной формы определяется:

- погрешностью коэффициента развертки;
- погрешностью, вызванной неточностью определения уровня 0,5 амплитуды;
- визуальной погрешностью.

Предел допускаемой относительной погрешности, вызванной неточностью определения уровня 0,5 амплитуды определяют по формуле

$$\delta_{0,5} = 0,3b(\operatorname{tg} \alpha_1 + \operatorname{tg} \alpha_2)100\%/l,$$

где  $\alpha_1, \alpha_2$  – углы, образованные фронтом импульса и срезом импульса с вертикальной линией шкалы;

Предел допускаемой относительной погрешности измерения длительности импульсов прямоугольной формы  $\delta_U$  определяют по формуле

$$\delta_{\tau_n} = \pm (|\delta_l| + |\delta_{0,5}| + |\delta_{Kp}|),$$

где  $\delta_{Kp}$  – предел допускаемой относительной погрешности коэффициента развертки.

Значения величин, входящих в формулы для расчета погрешностей для осциллографа АСК-1021 равны:

$b = 0.6$  мм;

$\delta_{Kp} = \pm 7\%$  (без растяжки) или  $\pm 10\%$  при 10-кратной растяжке изображения;

$\delta_{Koy} = \pm 5\%$ ;  $\delta_n = \pm 2\%$ .

Относительная погрешность установки частоты генератора ГЗ-131 не превышает  $\pm 1\%$ .

3. Относительная погрешность измерения напряжения для ЦО составляет  $\delta_U = \pm 3\%$ .

Предельные значения абсолютной погрешности измерения интервала времени определяются формулой

$$\Delta_{\Pi} = \pm (10^{-3} \Delta t_{\max} + 10^{-4} \Delta t + 0,6 \text{ нс}),$$

где  $\Delta t_{\max}$  – интервал времени, соответствующий ширине экрана при данном масштабе, установленном по горизонтали;  $\Delta t$  – измеренный интервал времени.

