

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»
им. В.И.Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ)

ПРИБОРЫ И ТЕХНИКА РАДИОИЗМЕРЕНИЙ

**ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ
ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО
ОСЦИЛЛОГРАФА**

Санкт-Петербург

2023

1. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА

В лабораторной работе изучаются устройство и принцип действия универсального двухканального электронно-лучевого осциллографа, методика подготовки осциллографа к работе. Измеряются переходная и частотная характеристики осциллографа.

1.1. Структурная схема универсального осциллографа

Осциллограф – измерительный прибор, позволяющий получить график (осциллограмму) сигнала в декартовой системе координат напряжение-время и измерить его параметры. Осциллограф используется как для визуального анализа осциллограмм, так и для измерения параметров исследуемых сигналов. С помощью осциллографа прямым способом измеряют мгновенные значения напряжения и временные интервалы. Косвенные способы позволяют использовать осциллограф для измерения частоты, тока, фазового сдвига, сопротивления, АЧХ и пр.

Существуют три вида таких приборов – универсальные аналоговые электронно-лучевые осциллографы (ЭЛО), ЭЛО с цифровыми измерительными блоками и цифровые осциллографы. Основным узлом универсального аналогового осциллографа является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) с электростатическим отклонением луча. Исследуемый сигнал после усиления по-дают на вертикально - отклоняющие пластины ЭЛТ. На горизонтально-отклоняющие пластины приложено линейно-нарастающее напряжение развертки. ЭЛО позволяют исследовать сигналы в реальном масштабе времени и не имеют режима запоминания. Они пригодны для наблюдения повторяющихся процессов (периодических и непериодических). Однократные и неповторяющиеся процессы исследуют в режиме фиксации изображения на фотопленку или на цифровую фотокамеру. Для запоминания таких сигналов используют цифровые осциллографы.

Различают несколько групп универсальных осциллографов. Наиболее простые конструкции содержат один канал усиления сигнала с ограниченным частотным диапазоном. Более сложные универсальные осциллографы имеют два и более широкополосных канала усиления сигнала (200...400 МГц). Двухканальные осциллографы с электронной коммутацией сигналов и двухлучевые осциллографы позволяют наблюдать на экране два сигнала. Двухлучевые осциллографы имеют два идентичных канала усиле-

ния сигнала и позволяют регулировать параметры изображений (яркость, фокус, положение по вертикали и горизонтали) независимо друг от друга.

Структурная схема универсального двухканального осциллографа GOS-653G, исследуемого в данной лабораторной работе, приведена на рис. 1.1.

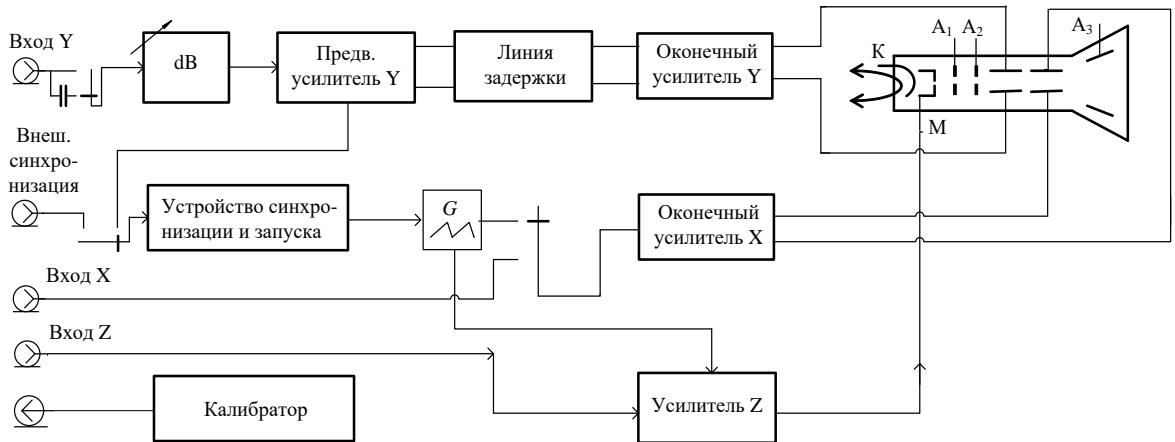


Рис. 1.1. Структурная схема осциллографа с системой двойной развертки

Она включает электроннолучевую трубку (ЭЛТ), каналы вертикального (Y) и горизонтального (X) отклонения луча, блок синхронизации и запуска, канал модуляции луча по яркости (Z) и калибратор. Органы управления этих блоков на передней панели осциллографа обычно объединяют в группы, что упрощает регулировку и управление прибором.

В осциллографе применена ЭЛТ с электростатическим формированием и отклонением луча. Такая трубка содержит две пары пластин для отклонения электронного луча по вертикали и горизонтали, ускоряющие и фокусирующие электроды, модулятор для управления плотностью луча (а, следовательно, и яркостью изображения) и катод с подогревателем. Изображение сигнала образуется на плоском экране с люминесцентным покрытием. Непосредственно на экран ЭЛТ наносят прямоугольную сетку (шкалу). Для удобства наблюдения и фотографирования шкала может быть подсвечена.

Канал Y служит для усиления исследуемых сигналов. Он включает входное устройство, калибранный аттенюатор, предварительный усилитель, линию задержки и оконечный усилитель. Входное устройство представляет собой коммутируемый разделительный конденсатор, позволяющий при необходимости убрать постоянную составляющую сигнала («закрытый вход»). Калибранный аттенюатор обеспечивает дискретную регулировку размера осциллограммы (масштаб по вертикали). Значения коэффициентов отклонения канала Y (вольт на деление) нанесены на шкалу аттенюатора. В

предварительном усилителе предусматривают возможность плавного изменения высоты изображения и его смещения по вертикали.

В двухканальном осциллографе используют два блока входных устройств, аттенюаторов и предварительных усилителей. Сигнал на оконечные каскады и ЭЛТ подают через электронный коммутатор каналов. Переключение каналов позволяет получить осциллограмму двух сигналов. Обычно используют *поочередный режим*, при котором на один ход развертки создается изображение первого сигнала, на другой – второго. Этот режим создает мелькание изображения при медленных развертках. Для этого случая применяют *прерывистый режим* переключения каналов с достаточно высокой частотой (порядка десятков кГц). Электронный коммутатор обеспечивает режимы независимого наблюдения сигналов в канале 1 и 2 и их суммирования.

Линия задержки в канале *Y* обеспечивает небольшой временной сдвиг сигнала, подаваемого на отклоняющие пластины. Этот сдвиг при внутренней синхронизации (запуске) позволяет сместить осциллограмму относительно начала развертки. Это сохраняет на осциллограмме передний фронт сигнала.

Оконечный усилитель канала *Y* обеспечивает отклонение луча в пределах рабочей части экрана. Малое выходное сопротивление усилителя уменьшает частотную зависимость канала на верхних частотах, возникающую из-за паразитной емкости отклоняющих пластин.

Канал *X* обеспечивает отклонение луча по горизонтали. Он содержит генератор развертки и оконечный усилитель. Генератор развертки имеет три режима работы: *автоколебательный* (непрерывный), *ждущий* и *однократный*. Автоколебательный режим является основным для осциллографа – напряжение развертки вырабатывается периодически независимо от наличия сигнала на входе прибора. Ждущий режим применяется для исследования непериодических сигналов и импульсов большой скважности, однократный – для фотографирования неповторяющихся одиночных процессов. В ряде случаев (при измерении частоты, фазового сдвига и пр.) генератор развертки отключают, а на оконечный усилитель канала *X* подают сигналы от внешнего источника развертывающего напряжения (*X–Y режим*).

Генератор развертки в автоколебательном режиме вырабатывает линейно-изменяющееся (пилообразное) напряжение (рис.1.2).

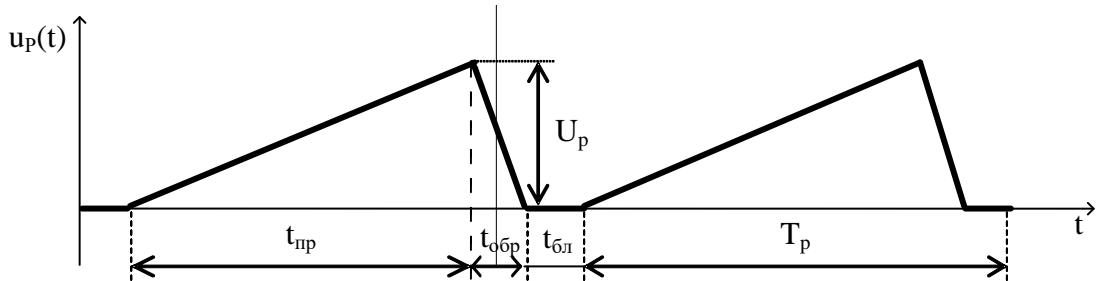


Рис. 1.2. Пилообразное напряжение непрерывной развертки

Оно имеет участок прямого хода развертки $t_{\text{пр}}$, участок обратного хода $t_{\text{обр}}$ и интервал блокировки $t_{\text{бл}}$, дополняющий сигнал развертки до периода T_p

$$T_p = t_{\text{бл}} + t_{\text{обр}} + t_{\text{бл}} \quad (1)$$

Длительность прямого хода определяет временной масштаб осциллограммы по оси X . Его задают коэффициентом развертки (время на деление). Время обратного хода делают минимальным, а интервал блокировки возникает в случае синхронизации генератора исследуемым сигналом. Период развертки становится кратен или равен периоду входного сигнала.

Оконечный усилитель канала X выполняет те же функции, что и усилитель канала Y . Кроме того, он используется в режиме $X-Y$ для усиления входного сигнала. Для получения более крупного масштаба используют режим *растяжки изображения* по горизонтали. При этом масштаб меняют не регулировкой генератора развертки, а дискретным (обычно в 10 раз) увеличением коэффициента передачи оконечного усилителя канала X .

В осциллографе применен блок двойной развертки. В канале X предусмотрено два генератора развертки – основной (A) и задержанной (B). Оба генератора могут работать независимо, обеспечивая обычный осциллографический режим (развертка A или B). В режиме задержанной развертки запуск развертки B осуществляют от генератора развертки A с задержкой, величину которой можно регулировать. Это позволяет смещать осциллограмму сигнала по оси X . В устройстве задержки напряжение развертки A сравнивается с постоянным опорным напряжением, величина которого плавно регулируется от нуля до величины, соответствующей амплитуде развертки. При этом компаратор устройства вырабатывает импульс запуска развертки B, временной сдвиг которого меняется в пределах длительности прямого хода развертки A. В ряде осциллографов потенциометр, регулирующий опорное напряжение, отградуирован в долях коэффициента развертки A, что позволяет использовать его для точных измерений временных интервалов.

Устройство синхронизации и запуска (УСЗ) вырабатывает импульсы синхронизации (запуска) генератора развертки. Они привязываются к одной и той же характерной точке сигнала (например, фронт, срез импульса и др.). Для периодических сигналов устройство синхронизации вырабатывает импульсы с периодом входного сигнала. Эти импульсы в автоколебательном режиме синхронизируют генератор развертки с исследуемым сигналом и обеспечивают тем самым неподвижность осциллограммы. В ждущем режиме импульсы запускают генератор развертки только при наличии на входе осциллографа исследуемого сигнала.

В УСЗ используют ручную или автоматическую регулировку уровня, по которому вырабатывается сигнал синхронизации (эта регулировка обычно обозначается УРОВЕНЬ). Применяют переключение полярности синхронизации - это позволяет выбрать положение импульса запуска на фронте (нарастании) или на срезе (убывании) сигнала.

Канал Z служит для модуляции яркости изображения на экране. Основное назначение канала - подсвет рабочего хода развертки. Во время обратного хода электронно-лучевая трубка запирается отрицательным напряжением на модуляторе развертки. При измерениях канал Z применяют для создания на осциллограмме яркостных меток и подсветки части изображения в режиме двойной развертки.

Калибратор служит для установки определенных масштабных коэффициентов по горизонтали и вертикали и представляет собой генератор эталонного сигнала. Для калибровки используют прямоугольные импульсы с известными амплитудой и частотой.

1.2. Принцип действия осциллографа и режимы его работы

Визуальный анализ осциллограмм – начальный этап использования осциллографа. Для исследования сигнала необходимо получить на экране ЭЛТ четкую, неподвижную осциллограмму в удобных для наблюдения масштабах по осям X и Y . Четкость изображения обеспечивают регулировкой яркости, фокусировки и астигматизма луча. Неподвижность изображения в автоколебательном режиме достигают синхронизацией генератора развертки от исследуемого сигнала (внутренняя синхронизация) или от внешних сигналов (внешняя синхронизация). При этом обеспечивается равенство или кратность периода развертки T_p периоду входного сигнала T_c (рис. 1.3 а, б).

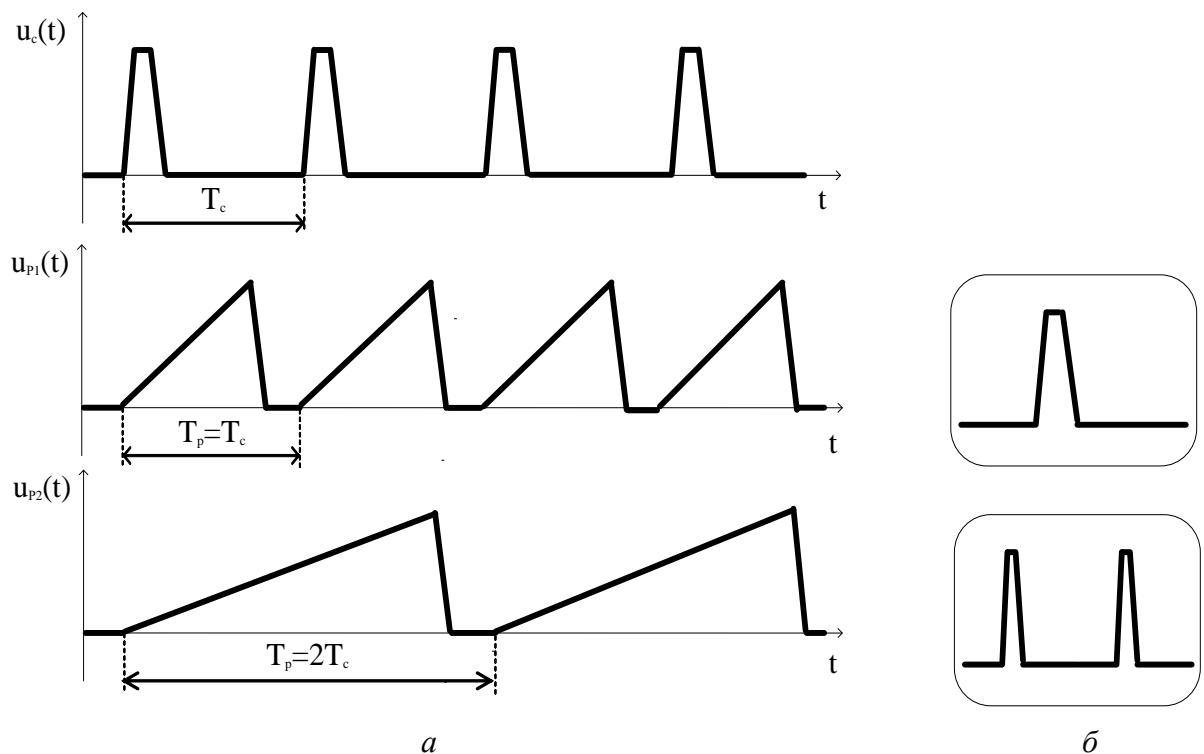


Рис. 1.3. Напряжения непрерывной развертки и осциллограммы сигналов

При исследовании импульсных сигналов с большой скважностью (напомним, что скважность – это отношение периода сигнала к его длительности) для получения удобного масштаба по оси X нужно устанавливать период развертки меньше периода сигнала. Это приводит к многократным проходам луча по линии нулевого уровня (рис. 1.4 а). Яркость линии может существенно превышать яркость изображения импульса, что затрудняет анализ осциллограммы. В этом случае используют ждущий режим работы генератора развертки. Генератор запускается только при наличии на входе исследуемого импульса. При этом ликвидируются проходы луча по линии нулевого уровня, яркость осциллограммы становится однородной (рис. 1.4 б). Ждущий режим незаменим для исследования непериодических повторяющихся сигналов, где синхронизация генератора невозможна.

Однократный режим работы осциллографа применяют редко – обычно он используется при фотографировании осциллограмм одиночных или неповторяющихся процессов (шумов, случайных сигналов). Одиночный проход развертки осуществляют путем нажатия кнопки на передней панели осциллографа.

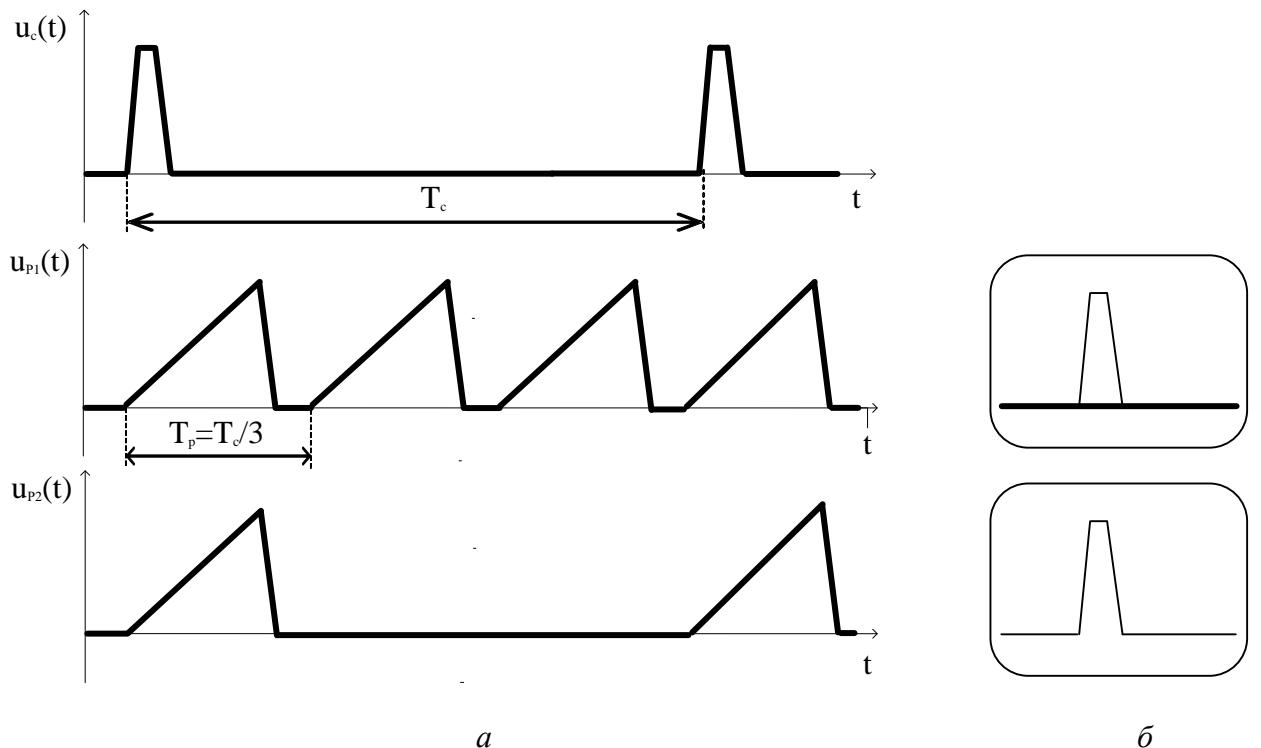


Рис. 1.4. Напряжения ждущей развертки.

В случае необходимости укрупнения масштаба по оси X без нарушения режима синхронизации используют растяжку изображения в усилителе X (рис. 1.5).

Дискретно увеличивают коэффициент передачи оконечного усилителя (обычно в 10 раз), что приводит к растяжению осциллограммы по оси X. Большую часть прямого хода луч на экране будет отсутствовать. Видимая часть осциллограммы при этом соответствует «временному окну», которое можно перемещать по оси X регулировкой горизонтального положения луча. Важно, что при этом режимы генератора развертки и синхронизации не меняются и условие неподвижности изображения сохраняется. Режим растяжки имеет и недостатки – уменьшается яркость осциллограммы и возрастают искажения, связанные с нелинейностью напряжения развертки.

Режим «временного окна» с укрупнением масштаба по оси времени удобнее реализовать в осциллографах с двойной разверткой. Выберем коэффициент развертки В меньше, чем развертки А (рис. 1.6).

Регулируя задержку развертки В и переключая канал X на работу с генератором В, получаем осциллограмму фрагмента в удобном масштабе времени. Для удобства установки задержки предусмотрен режим – «В подсвечивает А», при котором область действия развертки В выделяется на осциллограмме яркостной отметкой. Это осуществляют подачей импульса подсвета с генератора развертки В.

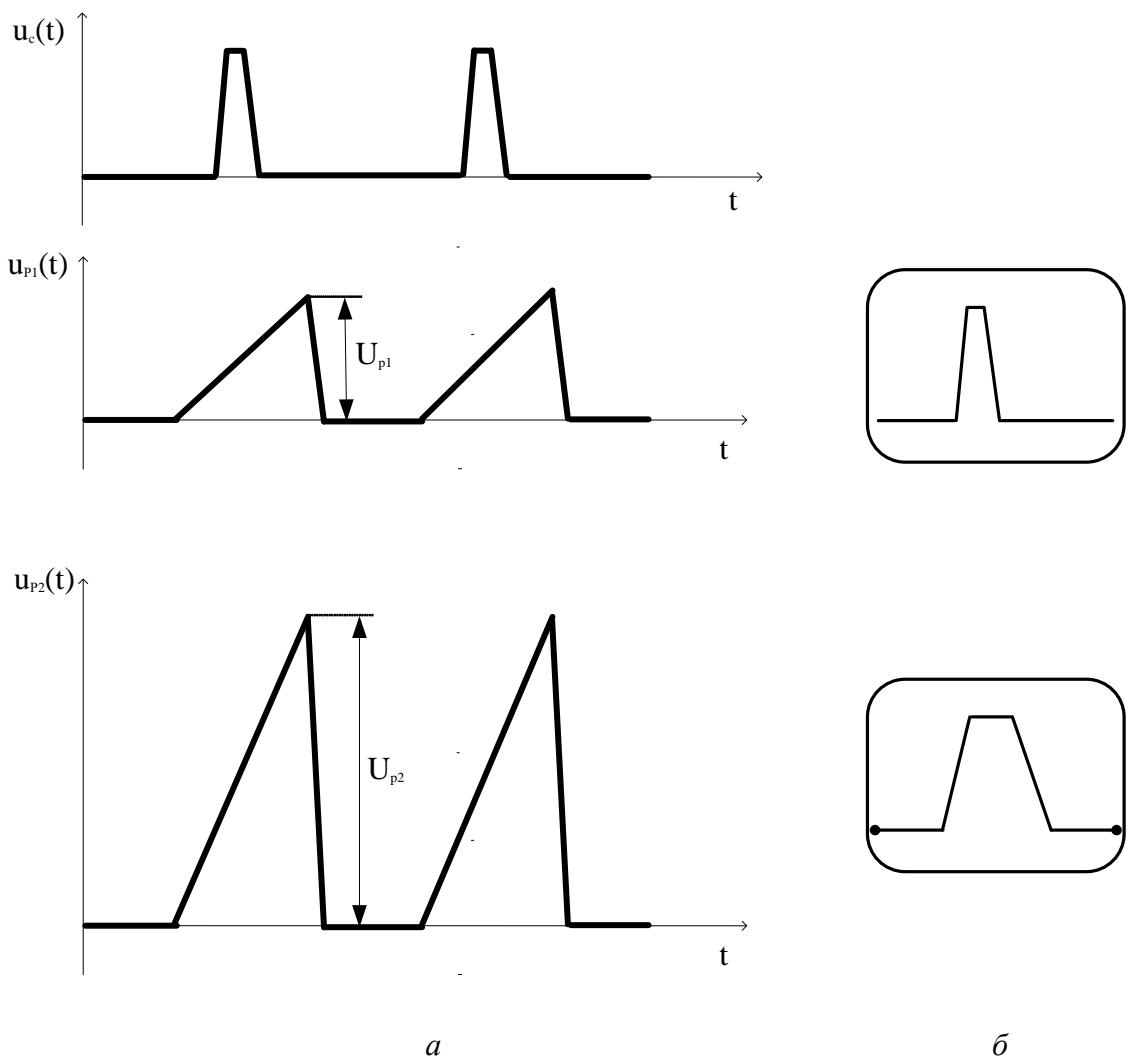


Рис. 1.5. Растворение осциллограммы по горизонтали

Измерение напряжений с помощью осциллографа производят, как правило, методом калиброванных шкал. Перед измерениями осциллограф должен быть откалиброван по вертикали, для чего на вход Y подают сигнал калибратора прямоугольной формы (меандр) с точно известной амплитудой. Подстройкой усиления канала Y добиваются соответствия вертикального размера изображения сигнала установленному коэффициенту отклонения. При этом плавная регулировка усиления в канале Y не используется (ручка ПЛАВНО должна находиться в крайне правом положении).

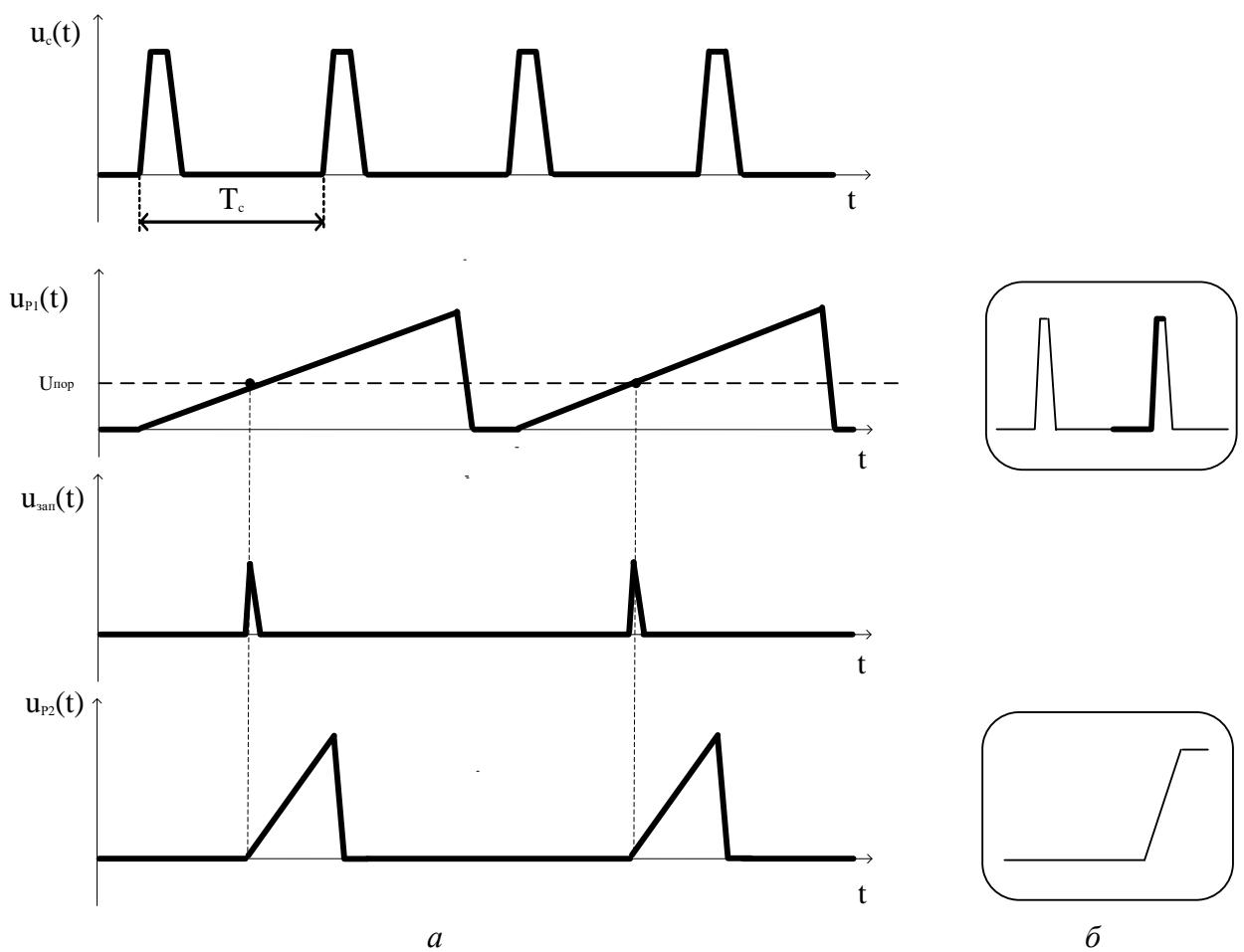


Рис. 1.6. Работа системы двойной развертки

При измерениях желательно выбирать коэффициент отклонения так, чтобы полный размер изображения сигнала составлял 80...90 % шкалы осциллографа. Определяют интересующий размер изображения по вертикали в делениях шкалы. Умножив число делений на установленный коэффициент отклонения, получают искомое значение напряжения.

Точность измерения напряжения методом калиброванных шкал определяется погрешностью установки коэффициента отклонения, погрешностью калибровки, конечными размерами светового пятна и дискретностью шкалы, нелинейностью масштаба по вертикали.

Измерение временных интервалов проводят также *методом калиброванных шкал*. Методика измерения подобна описанной ранее. Калибровку осциллографа по оси X производят плавной подстройкой длительности прямого хода развертки по известному периоду сигнала калибратора. Измеренный интервал (в делениях шкалы) умножают на коэффициент развертки K_p . При использовании растяжки его необходимо домножить на коэффициент растяжки. Плавная регулировка масштаба по оси X при этом не используется.

Точность измерения временных интервалов методом калиброванных шкал определяется погрешностью установки коэффициента развертки, погрешностью калибровки, конечными размерами светового пятна и дискретностью шкалы, нелинейностью развертки.

Параметры и характеристики осциллографа

К основным параметрам ЭЛО относятся:

- Диапазон коэффициентов отклонения, погрешность установки коэффициента отклонения или связанная с ним погрешность измерения напряжения. У аналоговых осциллографов погрешность измерения напряжения методом калиброванных шкал составляет 3...5 %.
- Диапазон коэффициентов развертки, погрешность установки коэффициента развертки или связанная с ним погрешность измерения временных интервалов. Погрешность коэффициента развертки составляет 3...8 %.
- Параметры переходной характеристики (ПХ): время нарастания, выброс, неравномерность вершины, время установления.
- Параметры входа канала вертикального отклонения: активное входное сопротивление и входная емкость. Обычно $R_{\text{вх}}$ составляет 1 МОм, входная емкость $C_{\text{вх}}$ 20...40 пФ. При использовании выносного пробника входная емкость может быть уменьшена до 7...10 пФ.
- Параметры сигнала синхронизации: диапазон частот; предельные уровни.

К дополнительным параметрам относятся:

- Параметры АЧХ: полоса пропускания; нормальный диапазон частот; расширенный диапазон частот.
- Коэффициент связки между каналами. Он показывает степень взаимного влияния каналов друг на друга.

Переходной характеристикой (ПХ) осциллографа называют осциллограмму скачка напряжения с пренебрежимо малым фронтом. В зависимости от вида частотной характеристики канала Y эта осциллограмма имеет вид ПХ апериодического (рис. 1.7 а) или колебательного (рис. 1.7 б) звена.

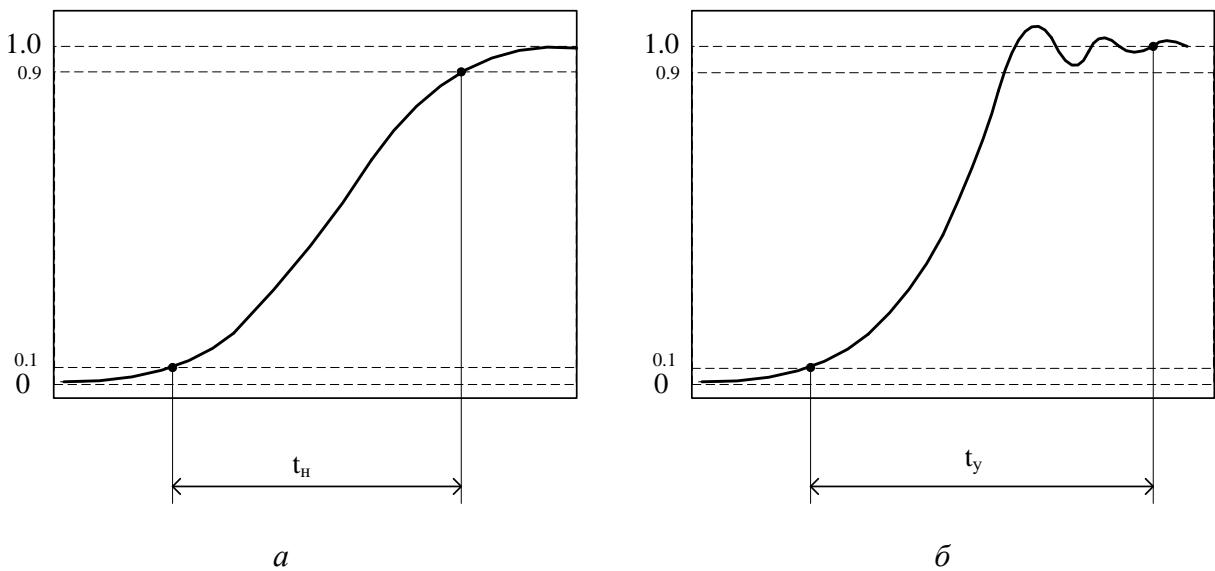


Рис. 1.7. Переходная характеристика осциллографа:

а – апериодического типа; б – колебательного (с выбросом).

В первом случае, характерном для широкополосных осциллографов, главный параметр ПХ – время нарастания ПХ τ_H . Его определяют, подавая на вход канала Y перепад напряжения с малым фронтом τ_ϕ . Время нарастания измеряют между точками уровней 0,1 и 0,9 от установившегося значения сигнала. Если входной сигнал имеет конечное время фронта, то результат измерения рассчитывают по формуле

$$\tau_H = \sqrt{\tau_{изм}^2 - \tau_\phi^2}, \quad (2)$$

где $\tau_{изм}$ – измеренная по шкале осциллографа величина.

Второй вид ПХ характерен для осциллографов с высокой чувствительностью и относительно узкой полосой пропускания. На ПХ наблюдается выброс, на плоской части имеются затухающие колебания. Для таких осциллографов вводят дополнительные параметры – время установления τ_y и величину выброса δ_B . Время установления отсчитывают между уровнем 0,1 и моментом, когда осцилляции на вершине ПХ не станут пренебрежимо малы. Выброс оценивают в процентах от амплитуды ПХ.

Переходная характеристика показывает степень искажения сигналов с резкими перепадами (например, импульсные и цифровые сигналы). Для синусоидальных сигналов более важными оказываются частотные свойства осциллографа, которые описываются формой его амплитудно-частотной характеристики (АЧХ). *АЧХ осциллографа* – это зависимость вертикального размера изображения синусоидального сигнала от его частоты. Измеряется АЧХ

при подаче гармонического сигнала от перестраиваемого генератора путем измерения размера изображения по вертикали на разных частотах.

Форма АЧХ и вид ПХ взаимосвязаны. В частности, значение выброса ПХ определяется крутизной склона АЧХ в области верхних частот. Оптимальной АЧХ, позволяющей получить минимальное значение τ_h и малый выброс, соответствует характеристика, близкая к кривой Гаусса:

$$A(f) = \exp[-0,35(f/f_B)], \quad (3)$$

здесь f_B – верхняя граничная частота осциллографа. Этот параметр осциллографа определяется по спаду АЧХ до уровня 0,707 от значения на низкой частоте. Верхняя граничная частота определяет полосу пропускания осциллографа. В ее пределах искажения спектра сигнала считаются допустимыми. Верхняя граничная частота и время нарастания ПХ для гауссовой формы АЧХ связаны между собой соотношением

$$\tau_h = \frac{350}{f_B}, \quad (4)$$

где частота выражена в МГц, а время – в нс.

Измерение амплитуды синусоидального сигнала на границе полосы пропускания приводит к значительным погрешностям (30 % на f_B). Для определения частотных границ измерения амплитуд гармонических сигналов и узкополосных радиосигналов с заданной точностью используют другой параметр осциллографа – *нормальный диапазон АЧХ* Δf . Это полоса частот, в пределах которой неравномерность АЧХ не превышает погрешности установки коэффициента отклонения (погрешности измерения напряжения) для данного осциллографа. *Расширенный диапазон АЧХ* – это интервал частот, в котором неравномерность АЧХ (а, следовательно, и точность измерения амплитуды гармонического сигнала) не превышает 10 %. Для узкополосных осциллографов параметры АЧХ являются основными параметрами канала Y .

1.3. Краткие сведения об осциллографе GOS-653G

По точности воспроизведения формы сигнала и измерения его параметров универсальный двухканальный осциллограф GOS-653G аналогичен отечественным осциллографам 2-го класса (основная погрешность измерения напряжения и временных интервалов не хуже 5 %, табл. 1.1).

Таблица 1.1

Технические характеристики двухканального осциллографа GOS-653G

	Параметры	Значения
--	-----------	----------

КАНАЛ ВЕРТИКАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ	Полоса пропускания	0...50 МГц (-3 дБ) (0...15 МГц при 1...2 мВ/дел)
	Коэффициент отклонения ($K_{\text{откл.}}$)	от 1 мВ/дел. до 5 В/дел (шаг 1-2-5)
	Погрешность установки $K_{\text{откл.}}$	$\pm 3\%$ ($\pm 5\%$ при 1...2 мВ/дел)
	Время нарастания	≤ 7 нс (≤ 23 нс при 1...2 мВ/дел)
	Выброс ПХ	Не более 5 %
	Входной импеданс	1 МОм/25 пФ
КАНАЛ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ОТКЛОНЕНИЯ	Коэффициент развертки ($K_{\text{разв.}}$) A (основная)	от 0,1 мкс/дел. до 0,5 с/дел. (шаг 1-2-5), растяжка x10
	Погрешность установки $K_{\text{разв.}}$	$\pm 3\%$ ($\pm 5\%$...8 % при растяжке x10)
	Задержка запуска развертки	от 1 мкс до 5 мс ($\pm 5\%$), плавная регулировка
	Режимы запуска разверток	Автоколебательный, ждущий, однократный
СИНХРОНИЗАЦИЯ	Источники синхронизации	Канал 1, канал 2, каналы 1 и 2 поочередно, сеть, внешний
	Фильтры синхронизации	Связь по постоянному/переменному току, ФВЧ, ТВ
Х-Y ВХОД	Полоса пропускания	0...2 МГц (-3дБ)
	Коэффициент отклонения	от 5 мВ/дел. до 5 В/дел. ($\pm 4\%$)
Параметры калибратора	Форма сигнала	Меандр с частотой 1 кГц $\pm 5\%$
	Амплитуда	2 В $\pm 2\%$

Назначение органов управления осциллографа GOS-653G

На базовом блоке (см. рис. 1.8.) расположена кнопка и индикатор включения прибора POWER, выход калибратора CAL и органы управления ЭЛТ: яркость INTEN, фокус FOCUS, подсветка шкалы ILLUM.

Блок Y (VERTICAL) содержит входные разъемы каналов CH1 и CH2, входные коммутаторы AC/DC (закрытый/открытый вход), кнопки GND – заземление входа. Коэффициент отклонения устанавливается калиброванными аттенюаторами (VOLTS/DIV), а также некалиброванной плавной регулировкой VAR. Вертикальное смещение осциллограммы регулируется в каждом канале плавно ручкой POSITION. Осциллограф обеспечивает следующие режимы работы коммутатора (переключатель MODE):

- CH1 -только канал I;
- CH2 - только канал II;

- DUAL – поочередное (на каждый ход развертки при K_p менее 2 мс/дел) или прерывистое переключение каналов с частотой порядка 250 кГц . Кнопка СНОР принудительно устанавливает прерывистый режим работы коммутатора;
- ADD – сложение сигналов каналов CH1+CH2. При нажатой кнопке INV сигнал второго канала меняет полярность, что соответствует вычитанию сигналов CH1-CH2;

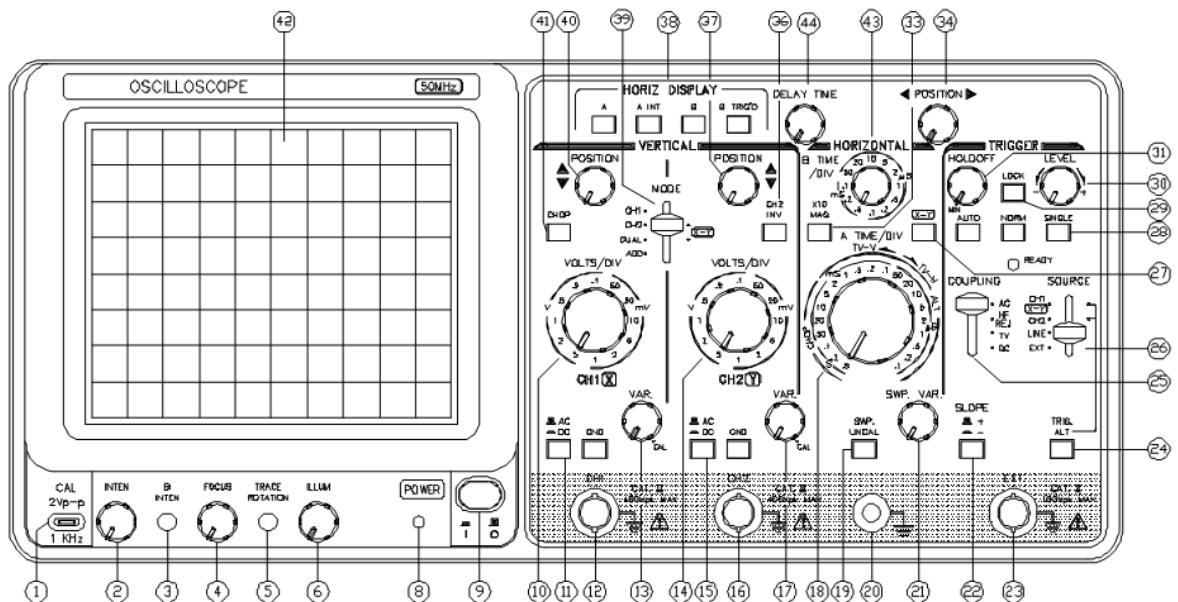


Рис. 1.8. Обозначения органов управления осциллографа GOS-653G

Канал X (HORIZONTAL) содержит два генератора: основной развертки (A) и задержанной развертки (B). Режим запуска генератора развертки устанавливается переключателем AUTO/NORM/SINGLE. В положении AUTO генератор работает в автоколебательном режиме. Режим NORM соответствует ждущей развертке. Однократный запуск развертки осуществляется нажатием кнопки SINGLE и индицируется светодиодом READY. Коэффициент развертки A устанавливается дискретно A TIME/DIV. При необходимости используют некалиброванную плавную регулировку SWP.VAR, которая работает только при нажатой кнопке SWP.UNCAL. Коэффициент развертки B дискретно устанавливается переключателем B TIME/DIV.

Растяжка развертки включается и выключается кнопкой x10 MAG. Режим работы канала X переключается кнопками HORIZ DISPLAY:

- только развертка A;
- развертка A с подсветом области действия развертки B (A INT);

- развертка В, запускаемая от развертки А с плавно регулируемой задержкой (ручкой *DELAY TIME*).
- развертка В с дискретной задержкой – В *TRIG'D*. Режим позволяет устанавливать задержку запуска с дискретном, равным периоду входного сигнала.

Горизонтальное положение осциллограммы регулируется ручкой *POSITION*. Отключение развертки осуществляется кнопкой режима *X-Y*. Этот режим в осциллографе имеет два варианта. В первом случае отклонение по горизонтали идет сигналом канала CH1, по вертикали – сигналом канала CH2. Переключатель *SOURCE* находится в положении CH1 или CH2. Если перевести его в положение *EXT*, то отклонение по горизонтали осуществляется внешним сигналом, поданным на вход *EXT*, а по вертикали – сигналами на входах каналов CH1 или CH2 (в зависимости от режима коммутатора *MODE*).

Блок синхронизации и запуска (TRIGGER) позволяет выбрать источник сигнала синхронизации (*SOURCE*): канал CH1 или CH2, напряжение питающей сети переменного тока 50 Гц (*LINE*) или внешнюю синхронизацию *EXT*. В поочередном режиме коммутатора (*ALT*) при нажатой кнопке *TRIG ALT* реализуется синхронизация по каждому из каналов. Это обеспечивает неподвижность изображения двух несинхронных сигналов.

В осциллографе предусмотрен режим задержки запуска. С помощью ручки *HOLD OFF* можно вручную увеличивать время блокировки напряжения развертки $t_{бл}$. Это позволяет повысить стабильность работы блока синхронизации в случае, когда на периоде сигнала возможна выработка более чем одного сигнала запуска. Нормальное положение этой регулировки – *MIN*.

Переключатель *COUPLING* меняет режим обработки сигнала синхронизации: *DC* – открытый вход, *AC* – закрытый вход (постоянная составляющая и НЧ сигналы с частотой < 10 Гц не поступают на блок синхронизации); *HF REJ* – ослабление ВЧ помех (> 50 кГц) с помощью встроенного фильтра НЧ. Режим *TV* предназначен для синхронизации телевизионным сигналом по строкам *TV-H* или кадрам *TV-V*.

Функция переключателя *SLOPE* – выбор полярности сигнала синхронизации. Положение (+) – синхронизация по возрастанию сигнала (запуск по фронту), (–) – по убыванию (запуск по срезу импульса). Уровень срабатывания устройства синхронизации устанавливается автоматически (при нажатой кнопке *LOCK*) или регулируется ручкой *LEVEL*.

1.4. Задание и указания к выполнению работы

1.4.1. Подготовка осциллографа к работе

Перед работой изучите назначение органов управления осциллографа. Для проведения измерений установите органы управления осциллографа в следующие положения:

- Переключатель режима блока Y – MODE – CH1, регуляторы VAR обоих каналов в фиксированное (крайнее правое) положение CAL;
- Развертка – A, автоколебательный режим (AUTO), плавная регулировка отключена (SWP UNCAL отжата), синхронизация SOURCE – CH1, положительная полярность синхронизации (кнопка SLOPE отжата), синхронизация поочередная от обоих каналов (кнопка TRIG ALT нажата), автоматический выбор уровня синхронизации (кнопка LOCK нажата);

Замкните вход канала I (кнопка GND нажата). Получите в центре экрана тонкую линию развертки, регулируя положение луча, яркость и фокусировку. Проверьте *балансировку* канала I осциллографа. Для этого установите коэффициент отклонения, равный 5 В/дел, затем 5 мВ/дел. Смещение линии развертки при переключении должно быть минимальным (не более половины малого деления шкалы). Проверьте балансировку канала II аналогичным образом.

Оцените качество *калибровки* коэффициента отклонения каналов. Для этого соедините выносной пробник осциллографа (делитель в положении $x1$) клемму CAL 2V 1 kHz калибратора осциллографа с входом канала I. Переключатель входа канала установите в положение DC – «открытый вход», кнопку GND надо отключить. Установите коэффициент отклонения канала 0,5 В/дел, коэффициент развертки A – 0,5 мс/дел. Проверьте, что регуляторы VAR находятся в фиксированном положении CAL. На экране появится изображения меандра (образцового сигнала калибратора). Амплитуда его 2 В, поэтому осциллограмма должна занимать 4 деления по вертикали. Проверьте калибровку второго канала по вертикали аналогичным способом.

Оцените калибровку осциллографа по горизонтали. Для этого с помощью ручки POSITION совместите начало импульса калибратора с первой вертикальной линией шкалы. Тогда при правильной калибровке развертки конец пятого периода должен совпасть с последней линией шкалы.

Осциллограф готов к измерениям – масштабные коэффициенты по вертикали и горизонтали соответствуют шкалам VOLTS/DIV, A TIME/DIV.

1.4.2. Измерение времени нарастания переходной характеристики осциллографа

Измерение времени нарастания переходной характеристики в работе производят при подаче на вход осциллографа образцового прямоугольного импульса от генератора АКИП-3301 (или аналогичного ему). Генератор должен обеспечивать малую длительность фронта. Для работы генератора в номинальном режиме соединение должно производиться через согласованную нагрузку 50 Ом.

Установите на генераторе частоту импульсов 100 кГц, длительность импульса – 1 мкс, амплитуду импульсов – 1 В. На генераторе АКИП-3301 эти параметры сохраняются во внутренней памяти прибора. Вызвать их можно, нажав кнопки [ПРЕФ]–>[Вызов].

Получите на экране осциллограмму переходной характеристики первого канала. Используйте следующий режим развертки А: коэффициент развертки 0,1 мкс/дел, синхронизация – SOURCE CH1 AUTO, (автоуровень - кнопка LOCK нажата). Ручкой \longleftrightarrow , установите изображение фронта импульса в центр экрана. Отрегулируйте коэффициент отклонения канала I и амплитуду импульса так, чтобы осциллограмма импульса располагалась между отметками 0 % и 100 % по шкале осциллографа.

Нажмите кнопку $\times 10$, вводя тем самым режим растяжки изображения. Зарисуйте форму ПХ. Проведите измерение времени нарастания для канала I. Отсчитайте число делений шкалы, укладывающееся между точками осциллограммы по уровням 0,1 и 0,9 от полного размера изображения. Эти уровни отмечены пунктирными линиями на масштабной сетке осциллографа. Умножив полученное число делений на величину коэффициента развертки с учетом растяжки (10 нс/дел.), получаем измеренную величину $t_{изм}$. Поскольку входной импульс имеет конечную длительность фронта $t_\phi \approx 8$ нс, то время нарастания ПХ осциллографа рассчитайте по формуле (2).

Проведите аналогичные измерения для канала II. После этого выключите режим растяжки (кнопку $\times 10$ надо отжать).

1.4.3. Измерение верхней граничной частоты и нормального диапазона АЧХ осциллографа

Для измерения параметров АЧХ осциллографа в работе используется высокочастотный генератор АКИП-3206/1 с цифровым принципом синтеза сигнала. Используйте режим немодулированного синусоидального сигнала на выходе А.

Измерение верхней граничной частоты канала I осциллографа производится следующим образом. На вход канала через нагрузку 50 Ом подайте гармонический сигнал от генератора. Частоту генератора установите порядка 10 кГц, амплитуду – 0,8 В. Установите на осциллографе коэффициент отклонения 0,1 В/дел, режим развертки A - AUTO, коэффициент развертки 5 мкс/дел, растяжка отключена (кнопка $\times 10$ отжата). Регулировкой амплитуды напряжения генератора установите высоту изображения 8 делений по вертикали (на всю шкалу). Затем, увеличивая частоту генератора (сначала грубо, а затем плавно), наблюдайте изменение высоты изображения. Частота, на которой размер изображения уменьшится до уровня 0,707 (т.е. до 5,6 дел), является верхней граничной частотой канала. Запишите значение f_b и проверьте связь между f_b и временем нарастания ПХ t_H . Для этого вычислите время нарастания по формуле (4) и сравните полученное значение с измеренным в 1.4.2.

Измерьте значение нормального диапазона АЧХ Δf . Она отсчитывается на частоте, где спад АЧХ достигает 5 % от максимального (паспортной погрешности осциллографа). Это соответствует размеру изображения 7,6 дел.

У осциллографа GOS-653G высокая чувствительность (малые коэффициенты отклонения) реализуется при узкой полосе пропускания. Выполните измерение f_b и Δf при коэффициенте отклонения 2 мВ/дел. Для этого необходимо уменьшить амплитуду выходного сигнала до 16 мВ.

Проведите аналогичные измерения для канала II и постройте графики АЧХ каналов осциллографа по трем точкам. На графиках отметьте измеренные частоты и соответствующие им уровни.

1.4.4. Измерение времени нарастания переходной характеристики осциллографа при малом коэффициенте отклонения (по указанию преподавателя)

Для коэффициента отклонения 2 мВ/дел измерьте время нарастания ПХ по методике п.1.4.2. Используйте амплитуду импульса 10 мВ (устанавливается на генераторе АКИП-3301 кнопками [АМП]->[10]->[МВ]).

Содержание отчета по лабораторной работе.

Отчет должен содержать структурную схему осциллографа, результаты измерений и расчетов, осциллограммы ПХ с отмеченными уровнями отсчета параметров, графики АЧХ осциллографа с отметками полос пропускания.

Контрольные вопросы

1. Что такое электронно-лучевой осциллограф? Какие измерительные задачи решают с помощью электронно-лучевого осциллографа?
2. Объясните назначение основных узлов канала вертикального отклонения осциллографа.
3. Для чего в канале Y осциллографа предусматривают режим закрытого входа?
4. Какие дополнительные возможности обеспечивает двухканальный осциллограф по сравнению с одноканальным?
5. Назовите режимы работы электронного коммутатора осциллографа. В каких случаях используют прерывистый режим?
6. Почему электронный коммутатор связан с генератором развертки осциллографа?
7. Для чего нужна связь канала развертки с каналом модуляции луча по яркости?
8. Какие режимы работы генератора развертки используют в осциллографах?
9. Как выглядит напряжение развертки в автоколебательном режиме? Для чего нужен участок блокировки?
10. Как, зная форму напряжения развертки, оценить установленный коэффициент развертки ЭЛО?
11. В каких случаях применяют ждущую развёртку?
12. Укажите условие неподвижности осциллограммы в автоколебательном режиме работы развертки. Нарисуйте график напряжения развертки при получении на экране устойчивого изображения одного периода сигнала, двух периодов сигнала.
13. Назовите режимы синхронизации осциллографа. В каких случаях используются эти режимы?
14. Какой сигнал вырабатывает устройство синхронизации и запуска? Как он связан с входным сигналом осциллографа?

15. Для чего используют регулировку уровня в блоке синхронизации и запуска осциллографа? В каких случаях используют переключение полярности синхронизации и запуска?
16. Укажите достоинства и недостатки использования режима «растяжки» в канале X осциллографа. Почему этот режим является дополнительным для осциллографа?
17. Для чего используется режим растяжки развертки осциллографа? Как определяют длительность измеряемых временных интервалов в режиме растяжки?
18. Какие параметры канала вертикального отклонения характеризуют его быстродействие? Укажите способы их измерения.
19. Дайте определение переходной характеристики и амплитудно-частотной характеристики осциллографа.
20. Как связаны время нарастания переходной характеристики и верхняя граничная частота АЧХ осциллографа?
21. Почему нормальный диапазон АЧХ осциллографа меньше полосы пропускания, отсчитываемой по уровню 0.707?