

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Государственное образовательное учреждение высшего профес-
сионального образования
“Санкт-Петербургский государственный электротехнический
университет “ЛЭТИ”
им. В.И. Ульянова (Ленина)” (СПбГЭТУ)

Кафедра теоретических основ радиотехники

А.А.ДАНИЛИН

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к выполнению лабораторной работы по дисциплине
“Приборы и техника радиоизмерений”

ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Санкт-Петербург

2022 г.

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ.....	2
1.1. Методы осциллографических измерений	2
1.2. Универсальный осциллограф с цифровым измерительным блоком.....	9
1.3. Технические характеристики параметры осциллографа GOS -6200.....	16
1.4. Состав лабораторной установки.....	17
1.5. Задание и указания к выполнению работы	18
1.5.1. Подготовка осциллографа к работе	18
1.5.2. Измерение параметров трапецеидальных импульсов методом калиброванных шкал и с помощью курсоров	18
1.5.3. Измерение параметров прямоугольных импульсов	20
1.5.4. Измерение параметров колоколообразных импульсов	22
1.5.5. Измерение отношения сигнал/шум для гармонического сигнала	23
1.6. Содержание отчета	24
1.7. Контрольные вопросы	24

1. ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

В лабораторной работе изучаются основные методы измерений параметров гармонических и импульсных сигналов с помощью универсального электронно-лучевого осциллографа GOS-6200 с цифровым измерительным блоком. Для получения сигналов сложной формы используется цифровой генератор сигналов Agilent 33220A.

1.1. Методы осциллографических измерений

Осциллограф –измерительный прибор, предназначенный для отображения временных зависимостей сложных сигналов и измерения их параметров – напряжения и временных интервалов. Название «Осциллограф» произошло от двух слов (лат. Oscillo «осцилло» — качаюсь + греч. «графо» — пишу). Исторически это название связано с приборами, фиксирующими форму колебаний на светочувствительную пленку (световые самописцы). В отечественной литературе это определение перешло на электронно-лучевые осциллографы, а затем – и на цифровые. В зарубежной технической литературе для этих приборов используют более точный термин - *осцилоскоп* («осцилло» + греч. «скопео» - смотреть).

Методы осциллографических измерений делят на две группы.

Первая группа — это традиционные методы визуального наблюдения сигнала на экране аналогового осциллографа и измерения его параметров по калиброванной сетке (*метод калиброванных шкал*). Вторая группа – это более точные методы сравнения на экране осциллографа исследуемого сигнала с эталонным (методы *замещения* и *электронных меток*).

Метод калиброванных шкал - наиболее часто используемый метод измерения напряжений и временных интервалов с помощью аналоговых осциллографов. Перед измерениями осциллограф калибруют по вертикали и по горизонтали. Для этого на вход Y подают сигнал от встроенного калибратора. Обычно используют сигнал прямоугольной формы (меандр) с точно известными амплитудой и периодом. Цель регулировки по вертикали - добиться соответствия вертикального размера изображения калибрационного сигнала установленному масштабу (значению коэффициента отклонения, нанесенному на шкалу аттенюатора канала). Это делают плавной подстройкой коэффициента усиления канала Y специальным потенциометром. Отметим, что ручка плавного изменения коэффициента отклонения при калибровке должна быть отключена или установлена в крайнее правое положение. Калибровку осциллографа по оси X проводят плавной подстройкой коэффициента развертки по сигналу калибратора с известным периодом. Это делают потенциометром, позволяющим в небольших пределах менять время прямого хода развертки. Ручка плавного изменения коэффициента развертки должна быть отключена или находиться в крайнем правом положении.

После калибровки получают изображение исследуемого сигнала в удобном масштабе. Для этого выбирают коэффициент отклонения так, чтобы размер изображения составлял 80... 90 % шкалы осциллографа. Это позволяет уменьшить относительную погрешность дискретности шкалы. Затем определяют интересующий размер изображения по вертикали в делениях шкалы. Умножив число делений на установленный коэффициент отклонения, находят искомое значение напряжения. Измерение временных интервалов методом калиброванных шкал выполняют аналогично. Размер измеряемого временного интервала (в делениях горизонтальной шкалы) умножают на установленный коэффициент развертки. При использовании режима растяжки его надо помножить на коэффициент растяжки (обычно 0.1).

Метод калиброванных шкал прост, нагляден, не требует дополнительных устройств и является основным методом измерений для осциллографа. Точ-

ность метода калиброванных шкал определяется погрешностью установки коэффициентов отклонения и развертки, погрешностью калибратора, конечной шириной луча и дискретностью шкалы, нелинейностью масштабов по вертикали и по горизонтали.

Более точный *компенсационный метод* измерения основан на замещении измеряемого параметра образцовым. При этом осциллограф выступает как устройство сравнения, реализуя обобщенный *нулевой метод* измерения.

Измерение напряжения компенсационным методом производят с помощью двухканального осциллографа в режиме сложения (вычитания) входных сигналов. Можно использовать также осциллограф с дифференциальным услителем в канале Y. Структурная схема подключения сигнала и источника образцового опорного напряжения U_0 к осциллографу представлена на рис. 1.1.

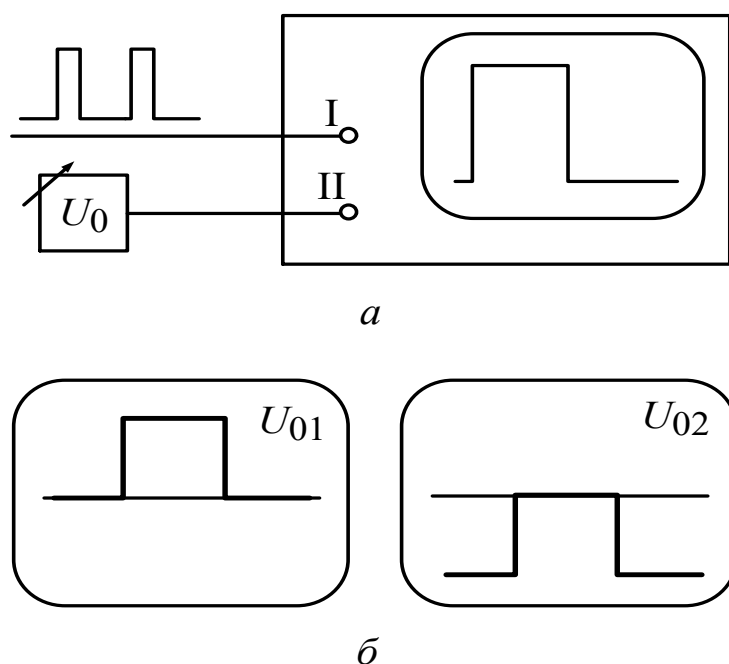


Рис. 1.1. Измерение напряжения методом замещения:

а – структурная схема;
б – осциллограммы сигнала.

На первый вход подают исследуемый сигнал (например, импульс, амплитуду U_m которого надо измерить), на второй – постоянное опорное напряжение. Плавные регулировки коэффициента отклонения каналов должны быть отключены или установлены в положении калибровки. Затем опорное напря-

жение регулируют так, чтобы пьедестал импульса совпал с выбранной заранее горизонтальной линией шкалы (рис.1.1б).

Фиксируют значение опорного напряжения U_{01} . Затем устанавливают такое значение опорного напряжения U_{02} , при котором с этой же линией шкалы совпадет вершина импульса (см. рис. 1.1 б). При необходимости меняют полярность опорного напряжения. Разность напряжений $(U_{02}-U_{01})$ пропорциональна амплитуде импульса. Коэффициент пропорциональности найдем, приравняв высоту импульса на экране U_m/K_{o1} и величину перемещения изображения $(U_{02}-U_{01})/K_{o2}$:

$$\frac{U_m}{K_{o1}} = \frac{(U_{02} - U_{01})}{K_{o2}}$$

Здесь K_{o1} и K_{o2} – коэффициенты отклонения по первому и второму входам. Отсюда следует расчетная формула для измеряемой амплитуды :

$$U_m = \frac{(U_{02} - U_{01})K_{o1}}{K_{o2}}$$

Источником погрешностей данного метода является неточность установки опорного напряжения (погрешность меры), погрешность совмещения точек изображения с линией шкалы (погрешность сравнения) и погрешность установки отношения коэффициентов отклонения.

В компенсационном методе исключены погрешности, связанные с нелинейностью отклонения по вертикали, дискретностью шкалы, уменьшено влияние конечной ширины луча осциллографа. Метод не требует предварительной калибровки осциллографа, поскольку результат зависит только от отношения масштабных коэффициентов каналов.

Измерение временных интервалов компенсационным методом производят осциллографами с двойной разверткой. В таких осциллографах предусмотрены два генератора развертки (А и Б). Изображение на экране можно получать с использованием напряжения как развертки А, так и развертки Б. Для измерения длительности методом замещения используют режим, когда развертка Б запускается от развертки А с плавно регулируемой калибруемой задержкой (поэтому ее называют *задержанной* разверткой). То есть начало развертки Б можно смещать относительно начала развертки А и тем самым смещать изображение в режиме Б по экрану осциллографа.

Рассмотрим в качестве примера методику измерения длительности импульса компенсационным методом. Коэффициент развертки А регулируют так, чтобы получить неподвижное изображение импульсов в удобном для

наблюдения масштабе. Переключив осциллограф на генератор Б, подбирают задержку и коэффициент развертки Б так, чтобы получить изображение импульса в центре экрана в крупном масштабе.

Управление запуском генератора Б осуществляется компаратором, сравнивающим постоянное опорное напряжение U_0 с напряжением развертки А. В момент равенства этих напряжений вырабатывается импульс запуска развертки Б. Регулируя опорное напряжение от нуля до амплитуды развертки А, можно перемещать начало развертки Б в пределах длительности прямого хода развертки А. При этом изображение в режиме задержанной развертки Б будет смещаться по горизонтали. Регулировку опорного напряжения делают калиброванной в долях коэффициента развертки А и обозначают МНОЖИТЕЛЬ ЗАДЕРЖКИ. В осциллографах с цифровыми измерительными блоками задержка градуируется непосредственно в единицах времени.

Измерение длительности импульса проводят следующим образом. Регулировкой задержки в режиме развертки Б устанавливают фронт импульса на любую вертикальную линию шкалы и фиксируют значение множителя задержки t_1 (рис.1.2 а).

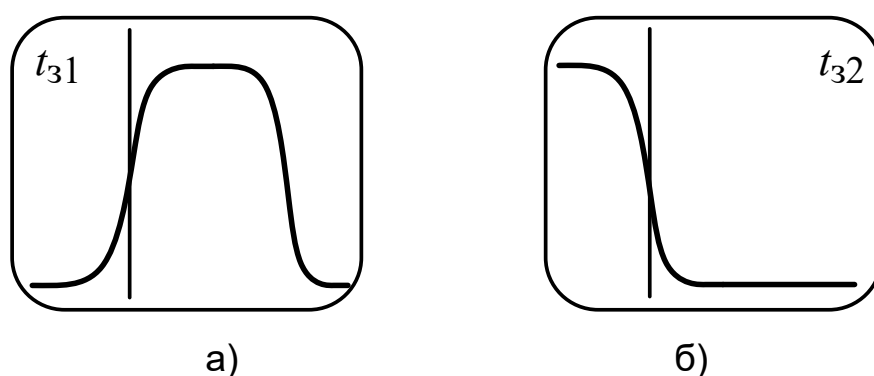


Рис. 1.2. Осциллограммы при измерении длительности методом замещения

Далее совмещают с этой же линией срез импульса (см. рис.2 б) и фиксируют множитель задержки t_2 . Для калиброванного в долях Kp_A множителя задержки эту разность необходимо умножить на коэффициент развертки Kp_A . Длительность импульса будет равна:

$$\tau_u = (t_2 - t_1) \cdot Kp_A.$$

При использовании цифрового блока двойной развертки длительность импульса будет равна просто разности задержек.

Компенсационный метод обеспечивает более высокую точность измерения временных интервалов, чем метод калиброванных шкал. Причины погрешности метода замещения – неидеальная калибровка канала А, нелинейность развертки А, погрешность градуировки шкалы множителя задержки, погрешность совмещения точек осциллограммы с линией шкалы. Остальные источники погрешности, характерные для метода калиброванных шкал, здесь исключены.

Метод электронных меток является вариантом общего метода сравнения с эталоном. Он позволяет значительно увеличить точность осциллографических измерений и повысить их производительность. Суть метода - создание на

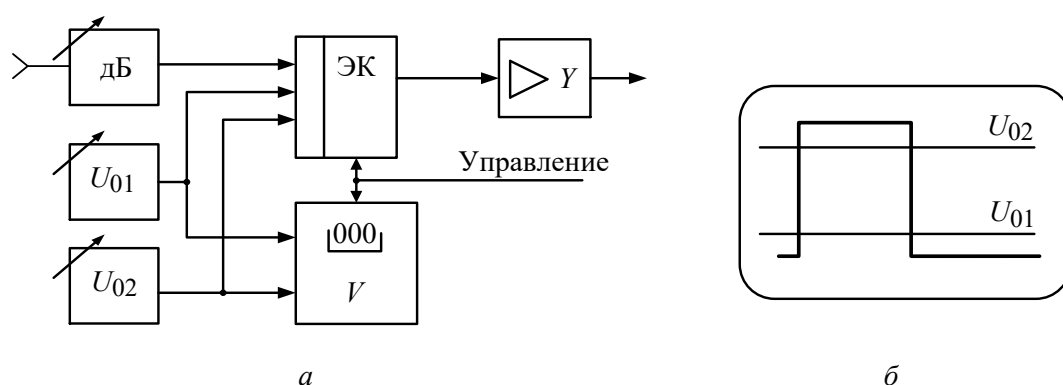


Рис. 1.3. Принцип создания курсоров для измерения напряжения методом сравнения

экране эталонных меток в виде линий (курсоров) или точек (маркеров) и совмещение их с измеряемыми частями изображения сигнала

Рассмотрим вариант метода для измерения напряжения (рис.1.3 а). Электронный коммутатор поочередно подключает к каналу Y измеряемый сигнал и два постоянных напряжения U_{01} и U_{02} . Величины этих напряжений можно плавно менять. Разность их измеряется и отображается на табло встроенного цифрового вольтметра. На экране формируется изображение сигнала и двух горизонтальных линий – курсоров (см.рис.1.3 б). Процесс измерения уровня сигнала сводится к перемещению курсоров в нужные точки изображения. Результат отсчитывается по табло вольтметра с учетом установленного коэффициента отклонения в канале Y. Точность измерения зависит от погрешности цифрового вольтметра и неточности совмещения курсоров с выбранными точками сигнала.

Похожим способом измеряют и временные интервалы. Метки времени на экране можно создать с помощью схемы, представленной на рис.1.4 а.

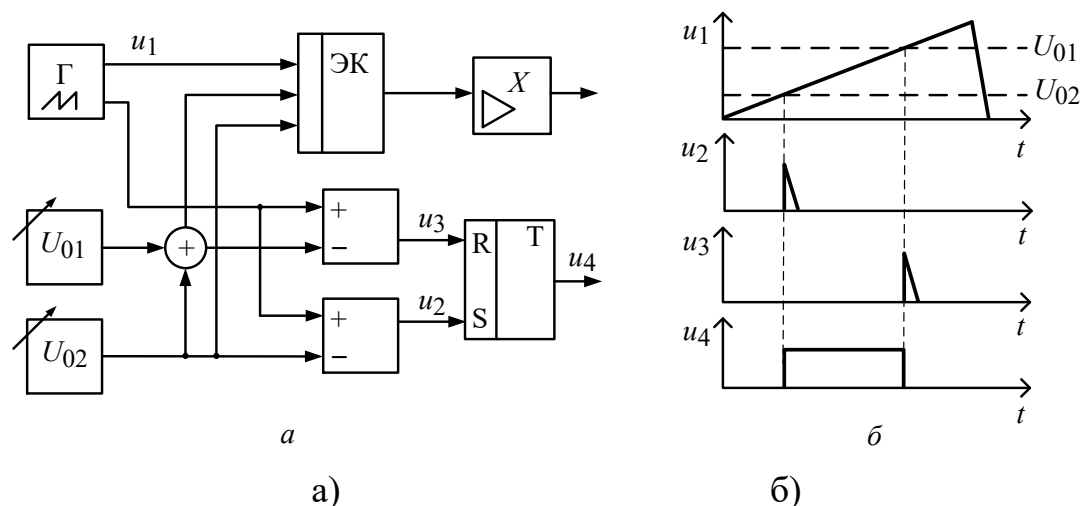


Рис. 1.4. Создание электронных меток по оси времени

Опорные напряжения U_{01} и U_{02} (с возможностью плавной регулировки) сравниваются с напряжением развертки u_1 с помощью двух компараторов. На первый подают напряжение U_{01} , на второй – сумму напряжений $U_{01}+U_{02}$. В моменты равенства напряжений на выходах компараторов образуются импульсы u_2 и u_3 . RS-триггером из них формируется прямоугольный импульс u_4 , длительность которого равна расстоянию между точками пересечения линии развертки с опорными напряжениями (см. рис.1.4 б). Длительность импульса u_4 измеряется встроенным электронно-счетным частотомером.

Опорные напряжения и напряжение развертки через электронный коммутатор поочередно подключаются к усилителю канала X . При подаче развертки высвечивается исследуемый сигнал, при подаче опорных напряжений луч находится в точках, соответствующих границам измеряемого интервала. Таким образом, на экране формируются две точки - маркеры длительности. Удобнее использовать вертикальные курсоры, для чего в моменты подачи на канал X опорных напряжений на канал Y подают отклоняющий сигнал в виде треугольного или пилообразного напряжения. Регулируя напряжения U_{01} и U_{02} , совмещают курсоры с границами интересующего временного интервала и отсчитывают его значение на табло частотомера.

Погрешность метода включает погрешность измерения временного интервала, нестабильность порога срабатывания компараторов, неточность совмещения меток с точками изображения. Отметим, что при таком способе создания меток на результат не влияет нелинейность напряжения развертки.

Метод электронных меток реализуют в осциллографах с встроенными аналоговыми или цифровыми измерительными блоками. Схемы формирова-

ния меток, подобные рассмотренным выше, в таких блоках часто совмещены. Эталонные сигналы воспроизводятся на экране в виде двух ярких точек - электронных меток (маркеров). Значения напряжения и времени, соответствующие расстоянию между метками по вертикали и горизонтали, выводятся на цифровое табло или на экран электронно-лучевой трубки.

1.2. Универсальный осциллограф с цифровым измерительным блоком

В лабораторной работе используется универсальный аналоговый осциллограф GOS-6200. Это широкополосный двухканальный осциллограф с электронной коммутацией каналов, имеющий расширенные функциональные возможности:

- Курсорные измерения (7 функций);
- Режим автоматической установки размера изображения;
- Режим двойной развертки с калиброванной задержкой;
- Автоматическое измерение временных параметров сигнала (частота, период, длительность)
- ТВ-синхронизация (построчная, покадровая), возможность выделения ТВ-строк ;
- Автоматическая установка уровня синхронизации;
- Память режимов осциллографа на 10 установок органов управления.

Органы управления осциллографом объединены в группы на передней панели прибора (рис.1.5). Некоторые кнопки имеют двойное назначение. При кратковременном нажатии выполняется одна функция, при длительном - другая (обозначенная надписью с подчеркиванием). Кнопки и ручки каналов вертикального отклонения сгруппированы в блоке VERTICAL, органы управления разверткой – HORIZONTAL, блок синхронизации и запуска обозначен TRIGGER. Работа цифрового измерительного блока управляется кнопкой MEAS'MT.

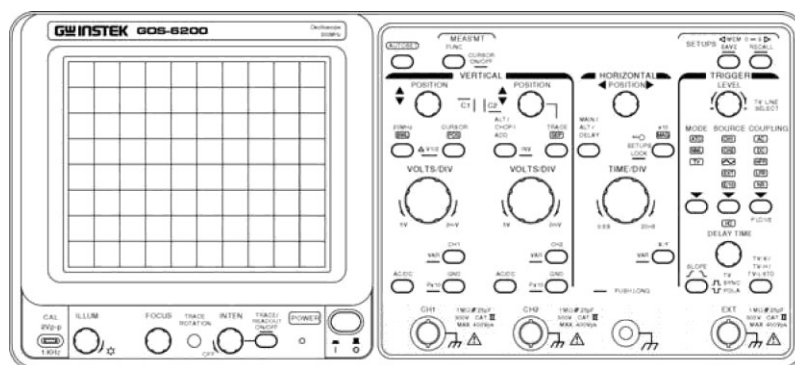


Рис. 1.5. Органы управления осциллографа GOS -6200

Запоминание и вызов установленных режимов осциллографа осуществляют кнопками SAVE и RECALL блока SETUPS. Предусмотрено хранение в энергонезависимой памяти до 10 предварительных установок режима осциллографа. Кратковременное нажатие одной из кнопок вызывает на экран номер памяти (MEM0...MEM9), которые можно выбирать этими же кнопками.

Осциллограф имеет режим автоматической настройки AUTOSET. При нажатии этой кнопки коэффициенты отклонения устанавливаются автоматически так, чтобы изображение сигнала заняло 3...6 деления по вертикали в одноканальном режиме и 3 деления – в двухканальном. Коэффициент развертки подбирается так, чтобы отразить на экране от 2 до 4 периодов сигнала.

Упрощенная структурная схема осциллографа представлена на рис.1.6. Основными блоками осциллографа GOS-6200 являются электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) с устройством ускорения и фокусировки электронов, каналы вертикального (Y) и горизонтального (X) отклонений луча, блок синхронизации и запуска, канал модуляции луча по яркости (Z) и калибратор.

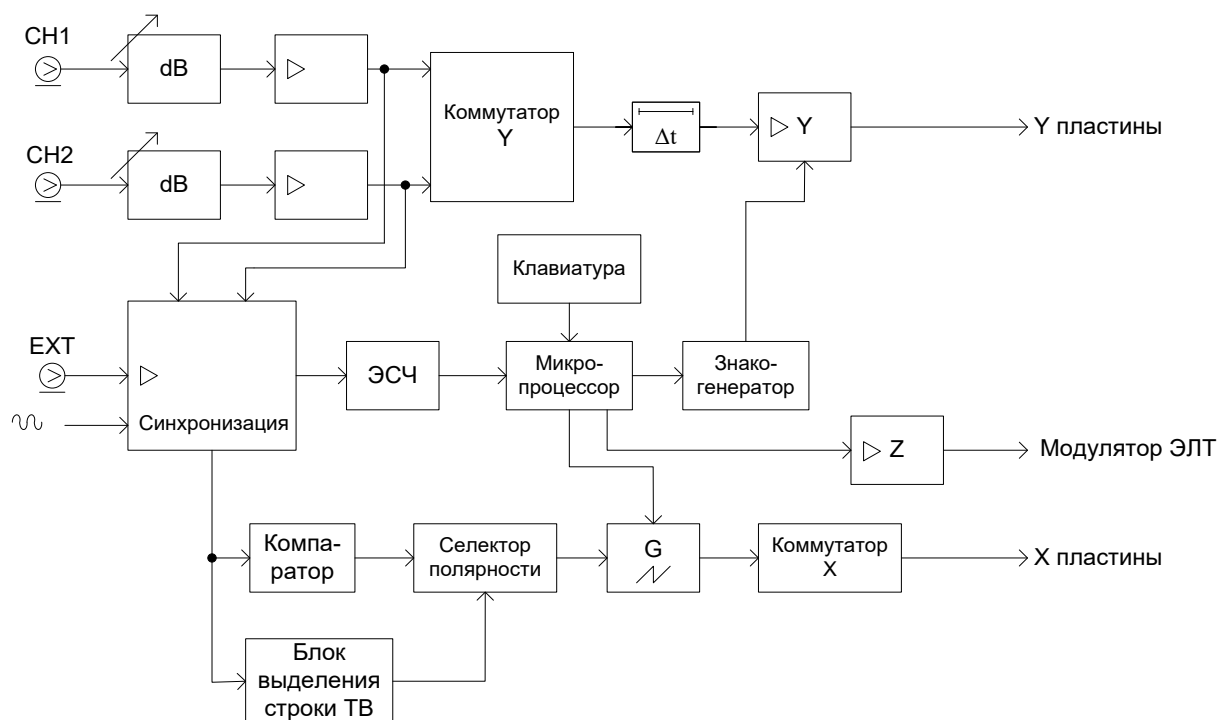


Рис. 1.6. Структурная схема осциллографа GOS -6200

В осциллографе предусмотрены два канала вертикального отклонения луча (CH1 и CH2), содержащие идентичные входные устройства, аттенюаторы и предварительные усилители. После электронного коммутатора сигнал поступает на линию задержки, оконечный усилитель и на ЭЛТ.

Входное устройство каждого канала управляется кнопкой AC/DC. Оно представляет собой коммутируемый разделительный конденсатор, позволяющий при необходимости убрать или оставить постоянную составляющую сигнала ("закрытый" – AC или «открытый» - DC входы). Во входном устройстве предусмотрен режим «земля», включаемый кратковременным нажатием кнопки GND. При этом вход замыкается на общий провод ($\perp$). Калиброванный аттенюатор обеспечивает регулировку уровня исследуемого сигнала. Аттенюатор отградуирован в коэффициенте отклонения VOLTS/DIV (В/дел). Пределы установки коэффициента отклонения в осциллографе GOS -6200 2 мВ/дел ...5 В/дел.

Предварительный усилитель обеспечивает основное усиление исследуемого сигнала, возможность смещения изображения по вертикали (ручка POSITION). Режим некалиброванного плавного изменения коэффициента отклонения ручкой VOLTS/DIV при необходимости включают длительным нажатием кнопки VAR. Для исследования сигналов в ограниченном частотном

диапазоне (например, при наличии широкополосного шума) используют переключение осциллографа в узкополосный режим (20 MHz). Включение режима подтверждается индикатором BWL (ограниченная полоса).

Коммутатор каналов обеспечивает независимое наблюдение двух сигналов. Включение и выключение канала реализуют кратковременным нажатием кнопок CH1 или CH2. Совместное наблюдение сигналов включают кнопкой ALT/CHOP/ADD. В осциллографе применен автовыбор основного режима коммутации, при котором в диапазоне коэффициентов развертки 2мс...0,1мкс/дел включен *поочередный* режим (ALT). На один ход развертки создается изображение одного из сигналов, на другой – второго. Этот режим неудобен при медленных развертках, так как создает мелькание изображения. В этом случае (для коэффициентов развертки 0,5с...5мс/дел) используют *прерывистый* режим переключения каналов (CHOP) с частотой 250 кГц. Этот режим можно включить вручную при любом коэффициенте развертки (нажатием кнопки CHOP). Режим сложения (ADD) позволяет наблюдать на экране сумму сигналов каналов. Поскольку во втором канале предусмотрена возможность инвертирования сигнала (его включают длительным нажатием кнопки INV), то в этом режиме можно также вычитать сигналы каналов.

Линия задержки в канале Y обеспечивает небольшой временной сдвиг сигнала, подаваемого на отклоняющие пластины Y, относительно начала развертки. Это позволяет отобразить на осциллограмме фронт исследуемого импульса в режиме внутренней синхронизации (запуска).

Оконечный усилитель канала Y дополнительно увеличивает амплитуду сигнала до значения, необходимого для отклонения луча в пределах рабочей части экрана. Малое выходное сопротивление усилителя позволяет уменьшить частотную зависимость канала на верхних частотах, возникающую из-за паразитной емкости отклоняющих пластин.

Канал X обеспечивает отклонение луча по горизонтали. Он содержит блок развертки HORIZONTAL, оконечный усилитель и устройство синхронизации (запуска) TRIGGER. Генератор развертки вырабатывает линейно изменяющееся (пилообразное) напряжение. Он имеет три режима работы, переключаемых кнопкой MODE: *автоколебательный* (ATO), *ждущий* (NML) и *телевизионный режим* (TV). Автоколебательный режим применяют для наблюдения периодических сигналов. Ждущий режим используют для исследования непериодических сигналов и импульсов большой скважности. Режим

TV применяют для исследования стандартных телевизионных видеосигналов систем PAL/SECAM.

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*). Его включают кратковременным нажатием кнопки X-Y. Первое нажатие позволяет получить наклонную линию для сигнала только одного канала CH1-X, CH1-Y. Этот режим используют для установки размера осциллограммы. Второе нажатие кнопки X-Y включает режим развертки по горизонтали от первого канала (CH1 – X), по вертикали – от второго (CH2 – Y). Третье нажатие кнопки позволяет получить две фигуры Лиссажу. Отклонение по X производится сигналом, поданным на вход EXT, по оси Y – сигналами каналов CH1 – Y1, CH2 – Y2. Этот режим позволяет сравнивать фазы двух сигналов.

Оконечный усилитель канала X выполняет те же функции, что и оконечный усилитель канала Y. Кроме этого, в усилителе предусмотрен *режим растяжки* изображения для получения более крупного масштаба осциллограммы по горизонтали. При этом масштаб меняют не регулировкой генератора развертки, а дискретным увеличением коэффициента передачи усилителя канала X в 10 раз (кнопка x10 MAG). Это уменьшает коэффициент развертки в 10 раз.

Устройство синхронизации и запуска (TRIGGER) обеспечивает неподвижность изображения на экране. Это устройство вырабатывает импульсы синхронизации (запуска) развертки, которые привязаны к одной и той же характерной точке повторяющегося сигнала (например, фронт, срез импульса и др.). Источник синхроимпульсов (SOURCE) может быть разного происхождения. Предусмотрена *внутренняя синхронизация* от входных сигналов каналов CH1 или CH2, синхронизация *от питающей сети* 50 Гц (обозначена «~»). Синхронизация и запуск *от внешнего источника*, подключенного к гнезду EXT, производится при положении переключателя SOURCE, обозначенного EXT (или E/10 с ослаблением внешнего сигнала синхронизации в 10 раз).

Для периодических сигналов устройство синхронизации вырабатывает импульсы с периодом, равным периоду входного сигнала. В автоколебательном режиме работы генератора развертки эти импульсы воздействуют на генератор развертки, синхронизируя его с исследуемым сигналом и обеспечивая тем самым неподвижность осциллограммы. В ждущем режиме напряже-

ние развертки вырабатывается только при наличии исследуемого сигнала (внутренний запуск) или сигнала запуска на входе EXT (внешний запуск).

Уровень, по которому вырабатывается сигнал синхронизации (или запуска), регулируется ручкой LEVEL. Величина уровня индицируется на экране в правом нижнем углу (в момент регулировки). Переключение полярности синхронизации (SLOPE) позволяет выбрать точку срабатывания УСЗ на фронте (нарастании) или на срезе (спаде) сигнала. При нестабильной работе устройства синхронизации (например, в случае сложных цифровых сигналов) используют регулировку стабильности (HO – DELAY TIME). Регулировка обеспечивает задержку запуска развертки в пределах 0–100% периода входного сигнала. Значение задержки в % индицируется в верхнем правом углу экрана.

В осциллографе GOS-6200 предусмотрен набор фильтров сигнала синхронизации (переключаемых кнопкой COUPLING). Они позволяют улучшить работу устройства синхронизации (запуска) и повысить ее стабильность. Предусмотрены: фильтр высокой частоты (ФВЧ - режим «АС» – из сигнала синхронизации убирается постоянная составляющая), фильтр низкой частоты (ФНЧ - режим «DC» – фильтруются высокочастотные составляющие сигнала). Кроме этого, для устойчивой синхронизации сигналов сложной формы используют два фильтра с частотой среза 40 кГц: ФНЧ (LFR) и ФВЧ (HFR). Дополнительный фильтр НЧ шумов и наводок (NR) удобен в случае синхронизации ВЧ сигналов с сохранением постоянной составляющей.

Система двойной развертки осциллографа помогает исследовать фрагменты сигналов в удобном масштабе и увеличить точность измерения временных интервалов. В осциллографе предусмотрено два генератора развертки - основной (MAIN) и задержанной (DELAY). Работой системы двойной развертки осциллографа управляют кнопкой MAIN/ALT/DELAY. Положение MAIN соответствует работе с основной разверткой. Ее коэффициент развертки МТВ устанавливается переключателем TIME/DIV и выводится в правой верхней части экрана. Возможна плавная некалиброванная регулировка МТВ, для ее включения необходимо длительно нажать кнопку VAR канала X. На экране некалиброванный режим развертки отражается появлением значка (>).

Комбинированный режим ALT используют для установки коэффициента задержанной развертки DTB, которое производят той же ручкой TIME/DIV. Зону действия задержанной развертки, отмеченную на экране вертикальными пунктирными линиями, перемещают по экрану регулировкой DELAY TIME. Величина задержки DLY выводится в левой верхней части экрана, а вид сиг-

нала при задержанной развертке представлен на экране второй осциллограммой. Ее положение по вертикали можно регулировать независимо от основной осциллограммы при включенной кнопке TRACE SEP. Для наблюдения осциллограммы сигнала с задержанной разверткой включают режим DELAY.

Цифровой измерительный блок осциллографа GOS-6200 позволяет реализовать метод сравнения с эталоном. Он создает осциллограммы образцовых сигналов (курсоры). Они в осциллографе GOS-6200 выглядят как пара вертикальных или горизонтальных пунктирных линий. Для включения курсоров надо нажать и удерживать кнопку FUNC CURSOR ON OFF. Дальнейшее кратковременное нажатие этой кнопки позволяет выбрать одну из семи функций курсорных измерений:

1. Интервал напряжений (в вольтах) в первом или втором каналах $\Delta V1$ ($\Delta V2$). Переключение между каналами осуществляется длительным нажатием кнопки CURSOR POS - $\Delta V1/2$.
2. Интервал напряжений (в %) от размера изображения, соответствующего 5 делениям шкалы (100% по шкале осциллографа). Этот режим удобно использовать, например, при измерении выброса импульсного сигнала.
3. Отношение напряжений в дБ относительно 5 делений шкалы. Этот режим можно использовать, например, при измерении ширины АЧХ по заданному уровню.
4. Интервал времени ΔT_m . Используют вертикальные курсоры, расстояние между которыми в единицах времени выводится на экран.
5. Процентное измерение временных интервалов ΔT . За 100% выбирают интервал, занимающий 5 делений по горизонтали.
6. Измерение частоты по периоду осциллограммы $1/\Delta T_m$. Курсоры устанавливают на начало и конец периода сигнала. На экране отображается значение его частоты.
7. Измерение разности фаз двух гармонических сигналов. Его проводят при предварительной установке размера периода сигнала в 5 делений по шкале осциллографа. Курсоры устанавливают в точки, соответствующие временному сдвигу одного сигнала относительно другого. Результат измерения выводится в градусах.

Для регулировки положения курсоров надо включить режим CURSOR POS и использовать ручки C1 и C2 (POSITION). Меняя положение курсоров и совмещая их с нужными точками исследуемого сигнала, отсчитывают результат измерения, выводимый на экран осциллографа.

В цифровом измерительном блоке осциллографа GOS-6200 реализовано автоматическое измерение частотных и временных параметров входного сигнала. Используется тот факт, что при неподвижном изображении периодического его частота и частота сигнала синхронизации совпадают. Последнюю измеряют внутренним частотомером. Для выбора вида выводимого на экран параметра отключают курсорные измерения длительным нажатием кнопки FUNC. Установку режима автоматических измерений производят кратковременным нажатием кнопки FUNC. Возможны режимы: частота (FREQ), период (PERIOD), ширина (длительность) положительного сигнала (+WIDTH), отношение длительности сигнала к периоду в %) (+DUTY).

1.3. Технические характеристики параметры осциллографа GOS -6200

По точности воспроизведения формы сигнала и измерения его параметров осциллограф GOS-6200 аналогичен отечественным осциллографам 1-го класса ГОСТ (основная погрешность измерения напряжения и временных интервалов не хуже 3 %). Основные технические параметры осциллографа приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Характеристики	Параметры	Значения
Канал вертикального отклонения	Полоса пропускания	0...200 МГц (–3дБ), 0...20 МГц при 2 мВ/дел.)
	Коэффициент отклонения (K_o)	От 2 мВ/дел. до 5 В/дел. (шаг 1–2–5)
	Погрешность установки K_o	± 3 %
	Плавная регулировка K_o	Перекрытие в 2.5 раза
	Время нарастания ПХ	≤ 1.75 нс ($\leq 17,5$ нс при 2 мВ/дел.)
	Выброс ПХ	Не более 5 %
	Входной импеданс	1 МОм/25 пФ
Канал горизонтального отклонения	Коэффициент развертки (K_p) А (основная)	От 20 нс/дел. до 0.5 с/дел. (шаг 1–2–5), растяжка $\times 10$
	Коэффициент развертки (K_p) В (задержанная)	От 20 нс/дел. до 50 мс/дел. (шаг 1–2–5), растяжка $\times 10$
	Погрешность установки K_p	± 3 % (± 5 % при растяжке $\times 10$)
	Плавная регулировка K_p	Перекрытие в 2.5 раза
	Задержка запуска	от 1 мкс до 5 мс (± 5 %),

	развертки В	плавная регулировка
	Режимы запуска разверток	Автоколебательный, ждущий, однократный
Синхронизация	Источники синхронизации	Канал I, канал II, сеть, внешний
	Фильтры синхронизации	Связь по постоянному/переменному току, ФВЧ, ТВ
Х-У-вход	Полоса пропускания	0...500 кГц (-3дБ)
	Коэффициент отклонения	от 2 мВ/дел до 5 В/дел/ ($\pm 3\%$)
Курсорные измерения	Режимы измерений	ΔV , $\Delta V\%$, ΔVdB , ΔT , $1/\Delta T$, $\Delta T\%$, $\Delta \Theta$
	Точность	$\pm 3\%$ в пределах по вертикали ± 3 дел., по горизонтали ± 4 дел.
Автоматические измерения	Режимы измерений	Частота, период, длительность импульса, скважность
	Точность	$\pm 0.01\%$
ЭЛТ	Размер экрана	8 × 10 дел. (1дел. = 10 мм)
Параметры калибратора	Форма сигнала	Меандр с частотой 1 кГц $\pm 5\%$
	Амплитуда	2 В $\pm 2\%$

1.4. Состав лабораторной установки

В лабораторную установку входит универсальный микропроцессорный электронно-лучевой осциллограф GOS-6200 фирмы GOOD WILL INSTEK. Для получения сигналов используется цифровой генератор сигналов Agilent 33220A, в котором предусмотрена возможность генерации сигналов произвольной формы. Исследуемые формы сигналов сгенерированы заранее и хранятся в энергонезависимой памяти прибора.

1.5. Задание и указания к выполнению работы

1.5.1. Подготовка осциллографа к работе

Перед работой изучите назначение органов управления осциллографом. Включите осциллограф кнопкой POWER.

Проверьте калибровку осциллографа для второго канала. Для этого соедините осциллографическим щупом 1:1 клемму выхода калибратора [CAL 2 Vp-p 1 kHz] с входом CH2. Переключатель входа [AC/DC] канала CH2 установите в положение AC - "закрытый вход", режим [GND] (если он включен) надо отключить кратковременным нажатием соответствующей кнопки. Выберите коэффициент отклонения канала CH2 [VOLTS/DIV] = 0.5 В/дел, коэффициент основной [MAIN] развертки MTB = 0.5 мс/дел. Включите автоколебательный режим работы развертки [MODE] => [ATO], источник синхросигнала [SOURCE] => CH2, фильтр синхронизации [COUPLING] => AC, полярность синхронизации [SLOPE] – по нарастанию. На экране появится изображение меандра (образцового сигнала калибратора). Отрегулируйте яркость [INTEN] и фокусировку [FOCUS] луча.

Амплитуда сигнала калибратора 2 В, поэтому при правильно откалиброванном канале Y осциллограмма должна занимать 4 деления по вертикали. С помощью ручки [HORIZONTAL POSITION] совместите начало первого импульса с левой вертикальной линией шкалы. Совпадение конца пятого периода с последней правой линией шкалы говорит о том, что осциллограф откалиброван и по длительности.

Если калибровка по вертикали или по горизонтали нарушены, то осциллограф требует технического обслуживания в метрологической службе.

1.5.2. Измерение параметров трапецеидальных импульсов методом калиброванных шкал и с помощью курсоров

В данном пункте лабораторной работы измеряются параметры видеоимпульсов трапецеидальной формы, записанной в энергонезависимую память функционального генератора Agilent 33220A под именем ARB_1. ВНИМАНИЕ! При работе с меню форм сигнала не нажимайте клавишу [Delete Stored] – это приводит к стиранию сигнала в памяти генератора!

Включите генератор и установите частоту повторения сигнала – 1 кГц, амплитуду сигнала – 1 В. Для этого используйте цепочку команд: [Freq] => [1

kHz] и [Ampl] => [1 Vpp]. Включите сигнал ARB_1, последовательно выбирая пункты меню генератора [Arb] => [Select Wform] => [Stored Wform] => [Arb Mem 1] => [SELECT Arb].

Нажмите кнопку OUTPUT и подайте сигнал с выхода генератора [Output] на вход первого канала осциллографа через согласованную нагрузку 50 Ом. Включите канал кратковременным нажатием кнопки [CH1]. Второй канал отключите нажатием кнопки [CH2]. Получите изображение одного или двух периодов сигнала в автоколебательном режиме [ATO] основной развертки [MAIN] при синхронизации от первого канала [SOURCE => CH1]. Регулировку масштабов по вертикали и горизонтали производите ручками коэффициента отклонения [VOLTS/DIV] и коэффициента развертки [TIME/DIV] канала CH1. Подберите коэффициенты отклонения и развертки так, чтобы импульс занимал большую часть экрана.

Оцените временные и амплитудные параметры импульса методом калиброванных шкал. Измерьте амплитуду импульса, подсчитав количество делений, укладываемых в вертикальный размер изображения и помножив их на коэффициент отклонения CH1. Затем определите временные параметры импульса – его длительность по уровню 50% от амплитуды, длительность по основанию, длительность вершины, длительности фронта и среза. Для этого измерьте соответствующие размеры изображения импульса в делениях шкалы. Домножая размеры на коэффициент основной развертки MТВ, получите параметры импульса в единицах времени. Результаты измерений сведите в таблицу 1.2.

Проведите точные измерения параметров импульса с помощью курсоров. Включите режим курсорных измерений осциллографа длительным нажатием кнопки [FUNC]. Кратковременным нажатием этой же кнопки установите режим измерения напряжения [ΔV_1]. Ручки [POSITION C1], [POSITION C2] переведите в режим управления курсорами кратковременным нажатием кнопки [CURSOR POS]) канала CH1. Установите курсоры на вершину и пьедестал импульса. Запишите значение амплитуды импульса.

Установите режим измерения временных интервалов [ΔT_m] и с помощью вертикальных курсоров точно измерьте временные параметры импульса (длительность по уровню 50% амплитуды, длительность по основанию трапеции, длительность вершины, длительности фронта и среза). Для удобства измерений установите вертикальный размер импульса точно 5 делений (от 0 до 100% по шкале слева на экране). Для этого включите режим плавной регулировки

коэффициента отклонения длительным нажатием кнопки [CH1 VAR] . Результаты измерений занесите в таблицу 1.2. Постройте график импульса, на который нанесите результаты точных измерений его параметров.

Таблица 1.2

	Метод калиброванных шкал	Курсорные измерения	Погрешность метода калиброванных шкал, %
Амплитуда импульсов, В			
Длительность импульса по уровню 50%, мкс			
Длительность импульса по основанию, мкс			
Длительность вершины импульса, мкс			
Длительность фронта, мкс			
Длительность среза, мкс			

После завершения измерения не забудьте отключить режим плавной регулировки длительным нажатием кнопки [CH1 VAR] и курсоры – длительным нажатием кнопки [FUNC].

1.5.3. Измерение параметров прямоугольных импульсов

В данном пункте лабораторной работы производят измерение параметров прямоугольных импульсов, пропущенных через фильтр нижних частот с АЧХ, близкой к прямоугольной. Выходной сигнал такого фильтра имеет на фронте и срезе колебательный процесс с выбросом (рис.1.7).

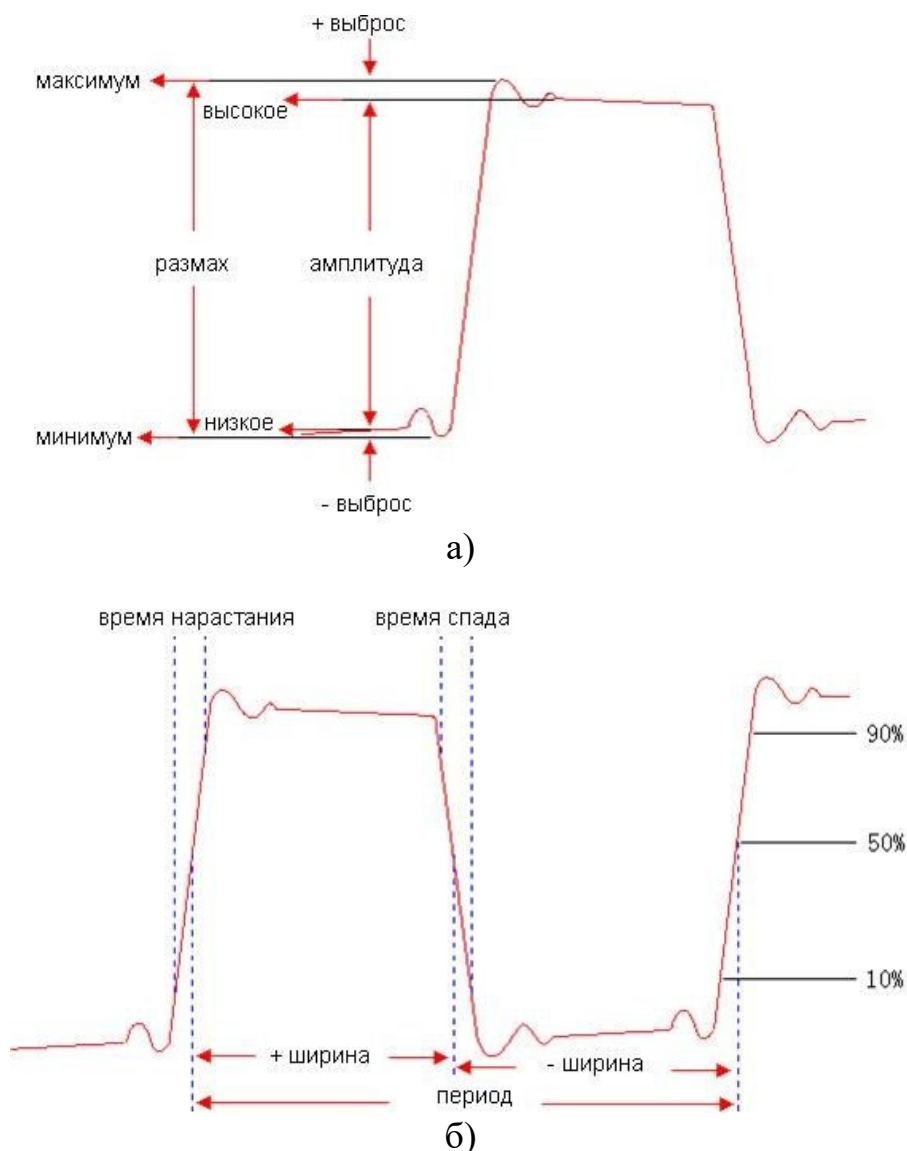


Рис. 1.7. Параметры реального прямоугольного импульса
а) – амплитудные, б) временные

Этот сигнал записан в энергонезависимую память функционального генератора Agilent 33220A под именем ARB_2. Включите этот сигнал, последовательно выбирая пункты меню генератора [Arb] => [Select Wform] => [Stored Wforms] => [Arb Mem 2] => [SELECT Arb]. Подайте сигнал на вход канала CH1.

Получите изображение двух-трех периодов сигнала в автоколебательном режиме [ATO] основной развертки МТВ при синхронизации от первого канала [SOURCE] = CH1. Выберите удобный масштаб изображения, используя регулировки [VOLTS/DIV] и [TIME/DIV]. Отрегулируйте его положение по вертикали (ручка [POSITION]).

Включите комбинированный режим двойной развертки [ALT]. При этом на экране появится две вертикальные линии, отмечающие область действия задержанной развертки. Выберите коэффициент задержанной развертки DTB ручкой [TIME/DIV] и время задержки DLY ручкой [DELAY TIME] так, чтобы получить изображение фронта сигнала в крупном масштабе по оси времени (его видно на фоне основного сигнала). Затем переключите осциллограф в режим задержанной развертки DELAY.

Измерьте время нарастания сигнала методом замещения. Для этого плавной подстройкой амплитуды сигнала генератора (в режиме [Ampl]) установите размер импульса от 0% до 100% по шкале осциллографа. Перемещая изображение по горизонтали ручкой DELAY TIME, совместите с одной и той же вертикальной линией шкалы осциллограмму на уровнях 10% и 90%. Запишите значения задержки DLY 10% и DLY 90%. Разность их будет равна длительности фронта импульса (время нарастания). Аналогичным образом измерьте время среза, длительность импульса по уровню 50% и период его повторения. Для измерения периода надо увеличить коэффициенты основной развертки MTB в режиме MAIN и задержанной развертки DTB в режиме DELAY.

Перейдите в режим основной развертки MAIN. Для оценки величины выброса импульса включите курсоры длительным нажатием кнопки [FUNC]. Кратковременным нажатием этой же кнопки установите процентный режим измерения напряжения [ΔV],%. Ручками [POSITION C1], [POSITION C2] установите курсоры на максимум выброса и на вершину импульса (на линию 100%). Запишите значение выброса импульса, измеренного в % относительно его амплитуды (100% — это 5 делений шкалы).

Переключите курсоры в режим измерения напряжения [$\Delta V1$] и измерьте амплитуду импульса U_m от 0% до 100%, а также полный размах импульса (V_{p-p}) с учетом выбросов. Сравните результат с установленным на генераторе значением.

1.5.4. Измерение параметров колоколообразных импульсов

В данном пункте лабораторной работы производят измерение параметров колоколообразных импульсов. Этот сигнал записан в энергонезависимую память функционального генератора Agilent 33220A под именем ARB_3.

Включите этот сигнал, последовательно выбирая пункты меню [Arb] => [Select Wform] => [Stored Wforms] => [Arb Mem 3] => [SELECT Arb]. Полу-

чите изображение двух-трех периодов сигнала в автоколебательном режиме [MODE] => ATO основной развертки [MAIN] при синхронизации от первого канала [SOURCE] => CH1. Отрегулируйте масштаб изображения по вертикали так, чтобы высота импульса была бы равна 100% по шкале осциллографа. При необходимости используйте подстройку амплитуды импульса на генераторе ([Ampl]).

Включите курсоры длительным нажатием кнопки [FUNC]. Выберите процентный режим измерения времени [ΔT],% и установите коэффициент развертки ручкой [TIME/DIV] так, чтобы период импульсов занимал 5 делений по горизонтали (100%). Ручками [POSITION C1], [POSITION C2] установите курсоры на точки пересечения импульса с центральной линией шкалы и измерьте относительную длительность импульса $\Delta T/T$,% по уровню 50% от его амплитуды. Рассчитайте скважность импульсов как обратную величину относительной длительности.

1.5.5. Измерение отношения сигнал/шум для гармонического сигнала

В данном пункте лабораторной работы производят оценку соотношения сигнал/шум для смеси синусоидального сигнала с шумом, имеющим нормальный закон распределения.

Одна реализация такого сигнала записана в энергонезависимую память функционального генератора Agilent 33220A под именем ARB_4 и периодически воспроизводится с частотой 1 кГц.

Включите его, последовательно выбирая пункты меню [Arb] => [Select Wform] => [Stored Wform] => [Arb Mem 4] => [Select Wform]. Получите на канале CH1 осциллографа изображение нескольких периодов сигнала в автоколебательном режиме [MODE] => ATO основной развертки [MAIN] при синхронизации от первого канала [SOURCE] = CH1.

Оценка отношения сигнал/шум с помощью осциллографа производится следующим образом. Включите режим курсорных измерений осциллографа длительным нажатием кнопки FUNC. Кратковременным нажатием этой же кнопки установите режим измерения напряжения [ΔV], %. Плавной регулировкой амплитуды сигнала на генераторе (режим [Ampl]) установите размах синусоиды, равный 100% по шкале осциллографа. Размах синусоиды отсчитывается по середине шумовой дорожки сигнала от минимума (0%) до максимума (100%). Затем ручками [POSITION C1], [POSITION C2] установите кур-

соры на края шумовой дорожки и измерьте ее относительную ширину $\Delta U_{ш}, \%$. Для нормального распределения ширину шумовой дорожки можно оценить равной ± 2 среднеквадратического отклонения (СКО) шума. То есть ширина дорожки примерно равна $4 \cdot \text{СКО}$ шума. Учтем, что размах синусоиды равен удвоенной ее амплитуде $2 \cdot U_m$. Тогда отношение сигнал/шум можно оценить как

$$C/\text{Ш} = \frac{U_m}{\text{СКО}} = \frac{2}{\Delta U_{ш}, \%} \cdot 100 \%$$

или в логарифмических единицах

$$C / \text{Ш} = 20 \cdot \lg\left(\frac{U_m}{\text{СКО}}\right) = 20 \cdot \lg\left(\frac{200\%}{\Delta U_{ш}, \%}\right), \text{дБ}$$

Такой метод осциллографической оценки с/ш часто используют для измерений шумовых свойств радиоприемных и усилительных устройств.

1.6. Содержание отчета

Отчет должен содержать структурную схему осциллографа, а также результаты измерений и расчетов, выполненных в соответствии с заданием.

1.7. Контрольные вопросы

1. Поясните суть метода калиброванных шкал. Как производят калибровку ЭЛО? Укажите основные источники погрешностей метода калиброванных шкал. Каковы пути их уменьшения?
2. Что такое коэффициент отклонения осциллографа? Как правильно установить коэффициенты отклонения при осциллографических измерениях?
3. Что такое коэффициент развертки осциллографа? Как устанавливают необходимое значение этого параметра?
4. Для чего в осциллографе используется электронный коммутатор? Каковы режимы его работы? Почему электронный коммутатор двухканального ЭЛО связан с генератором развертки осциллографа?
5. Для чего в осциллографе предусматривают регулировку (ограничение) полосы пропускания канала Y?
6. Для чего нужна линия задержки в канале Y осциллографа? В каком режиме работы осциллографа ее присутствие необходимо, а в каком необязательно?

7. Какие источники погрешности метода калиброванных шкал устранены в компенсационном методе измерения напряжения?
8. Для чего используется режим растяжки развертки осциллографа? Как определяют длительность измеряемых временных интервалов в режиме растяжки?
9. Объясните назначение цифрового блока в осциллографе GOS-6200. Какой метод измерения в нем реализован?
10. Каким образом на экране осциллографа реализуют изображение курсоров (меток) в виде прерывистых вертикальных или горизонтальных линий?