

Методические указания к лабораторной работе

«Осциллографирование электрических сигналов цифровым осциллографом»

для студентов, обучающихся в рамках унифицированных дисциплин Электроника 1.1,
Электроника 1.2, Электроника 1.3

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Освоение методов измерения параметров электрических сигналов с помощью цифрового осциллографа RIGOL DS1052E. Знакомство с простейшими электрическими цепями, широко используемыми в электронике.

2. ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

2.1. Ознакомится с теоретическими сведениями к лабораторной работе.

2.2. Рассчитать коэффициент деления резистивного делителя (рис. 4.1) $K_{\text{дел}} = R_2 / (R_1 + R_2)$ для сопротивлений резисторов: $R_1 = 1 \text{ кОм}$ (10 кОм); $R_2 = 560 \text{ Ом}$, 3 кОм , 5 кОм , 10 кОм . Результаты расчета оформить в виде таблицы.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

3.1. Осциллограф

Осциллограф – измерительный прибор, предназначенный для визуального наблюдения и исследования электрических сигналов.

Устройство и принцип действия осциллографа с электронно-лучевой трубкой

В основе работы осциллографа лежит преобразование исследуемых электрических сигналов в видимое изображение на экране электронно-лучевой трубки.

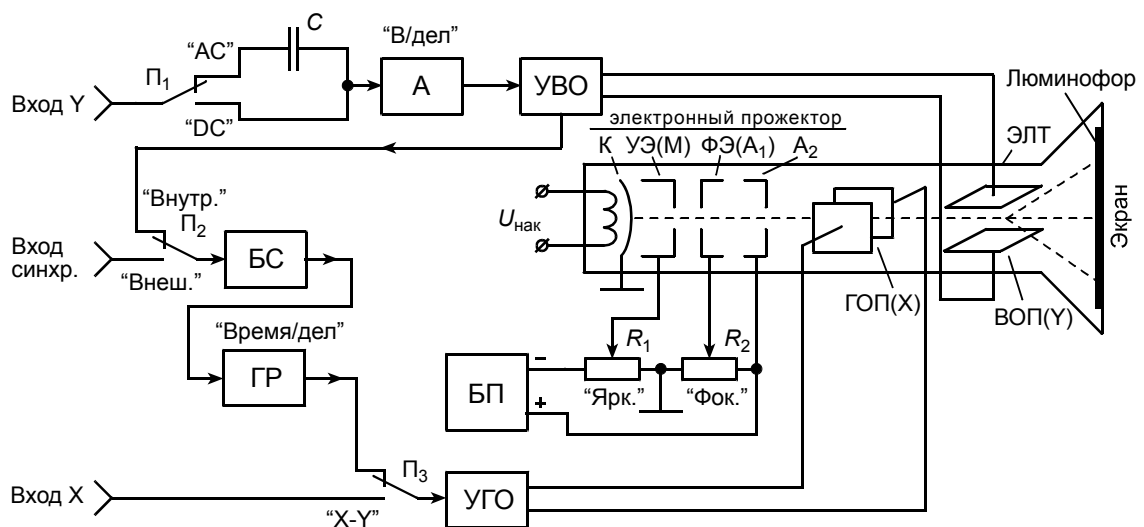


Рис. 3.1. Упрощенная функциональная схема осциллографа с электронно-лучевой трубкой. Π_1 – переключатель режима входа («АС» – закрытый вход, «DC» – открытый вход); Π_2 – переключатель источника синхронизации («Внутр.» – внутренняя синхронизация, «Внеш.» – внешняя синхронизация); Π_3 – переключатель входов УГО

В состав функциональной схемы (рис. 3.1) осциллографа входят следующие блоки: электронно-лучевая трубка (ЭЛТ), аттенюатор (А), усилитель вертикального отклонения (УВО), усилитель горизонтального отклонения (УГО), блок синхронизации (БС), генератор развертки (ГР), блок питания (БП).

Главным узлом осциллографа является электронно-лучевая трубка, представляющая собой стеклянную колбу, запаянную с одной стороны и расширяющуюся с другой стороны на конус. Сама трубка, как правило, имеет цилиндрическую форму, а расширяющаяся часть может быть как цилиндрической, так и прямоугольной формы. Расширяющаяся часть трубки заканчивается плоскостью, которая образует, так называемый экран ЭЛТ. Внутренняя часть экрана покрыта специальным составом – *люминофором*. Главным свойством люминофора является способность светиться при бомбардировке его электронным пучком. Такая способность называется *люминесценция*.

Внутри трубки вдоль центральной оси располагается *электронный прожектор*, представляющий собой систему электродов, с помощью которой формируется узкий поток электронов (электронный пучок) – *электронный луч*. Кроме прожектора, внутри трубки находятся две пары взаимно перпендикулярных пластин, предназначенных для перемещения электронного пучка вдоль экрана и получения на экране так называемых *осциллограмм*. Одна пара (Y-пластины) называется вертикально отклоняющие пластины (ВОП) расположена горизонтально. Вторая пара (X-пластины), расположенная вертикально, называется горизонтально отклоняющие пластины (ГОП).

В состав электронного прожектора входит:

1. *Катод* (К) является источником электронов, испускаемых под действием высоких температур (этот процесс называется *термоэлектронной эмиссией*). Для нагрева катода используется специальная спираль, на которую подается напряжение накала $U_{\text{нак}}$.

2. *Управляющий электрод* (УЭ) или *модулятор* (М) предназначен для первоначального фокусирования электронного пучка и регулирования яркости свечения изображения на экране. К управляющему электроду прикладывается отрицательное напряжение относительно катода.

3. *Фокусирующий электрод* (ФЭ) или *первый анод* (A_1) служит для ускорения электронов, входящих в электронный пучок и его фокусировки, т.е. для снижения поперечного сечения пучка. К данному электроду прикладывается положительное напряжение относительно катода.

4. **Второй анод** (A_2) используется для дальнейшего ускорения электронов. К электроду прикладывается самое большое напряжение относительно катода, составляющее несколько единиц-десятков киловольт. В совокупности с фокусирующим электродом второй анод также предназначен для фокусировки электронного пучка.

Конструктивно все электроды электронного прожектора выполнены в виде полых цилиндров, расположенных по оси трубки, и имеют перегородки с отверстиями. Два соседних электрода образуют, так называемую **электронную линзу**.

Подача напряжений на электронный прожектор осуществляется следующим образом. Катод имеет нулевой потенциал относительно «земли». Для фокусировки электронного луча на ФЭ подается положительное напряжение относительно катода, величину которого можно менять с помощью специального потенциометра «Фок.». К аноду A_2 приложено положительное напряжение. Величина данного напряжения подбирается при настройке прибора. Для управления интенсивностью электронного луча к УЭ относительно катода приложено отрицательное напряжение, величина которого регулируется потенциометром «Ярк.».

Электронный прожектор излучает узкий пучок электронов – электронный луч, который проходит между парами отклоняющих пластин. Под действием напряжений, подаваемых на эти пластины электронный луч отклоняется по осям X и Y , вызывая перемещение светового пятна на экране ЭЛТ.

Рассмотрим принцип формирования видимого изображения на экране осциллографа.

1. Если к отклоняющим пластинам (ОП) не прикладывать напряжения, то электронный луч будет падать в центральную точку экрана 1 (на рис. 3.2).

2. Если подвести сигнал к Y -пластинам, например, синусоидальное напряжение, а вторую пару (X -пластины) оставить без потенциалов, то на экране будем видеть вертикальную линию 2, длина которой будет зависеть от величины приложенного напряжения (рис. 3.2).

3. Подадим синусоидальное напряжение к X -пластинам, а Y -пластины оставим свободными, без потенциалов. В этом случае на экране будет отображаться горизонтальная линия 3 (рис. 3.2). Длина линии определяется амплитудой сигнала.

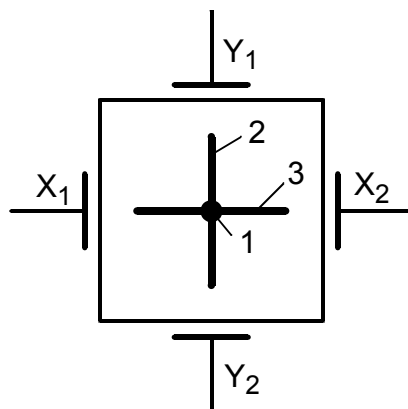


Рис. 3.2. Схематичное изображение отклоняющих пластин и примеры формирования изображения на экране ЭЛТ

4. Если подать одновременно две синусоиды на X- и Y-пластины, то на экране будем видеть линию под углом 45° , при условии, что фазовый сдвиг между синусоидами отсутствует (рис. 3.3).

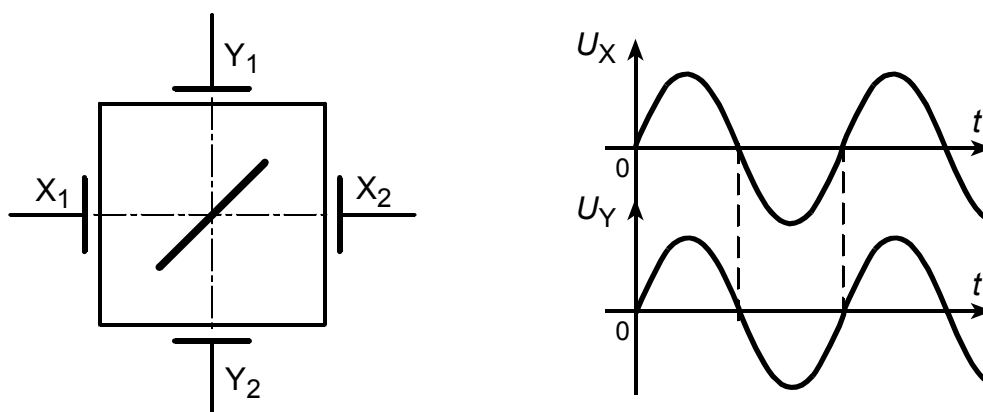


Рис. 3.3. Изображение на экране ЭЛТ при подаче на ОП двух синфазных синусоидальных напряжений

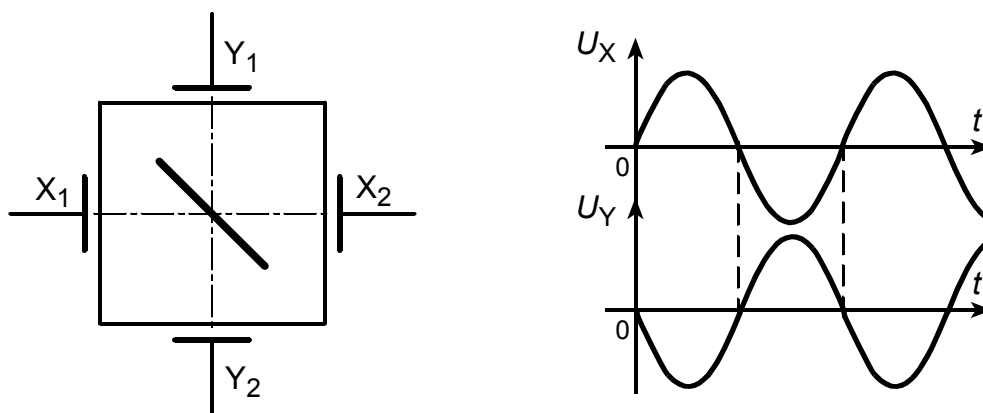


Рис. 3.4. Изображение на экране ЭЛТ при подаче на ОП противофазных сигналов

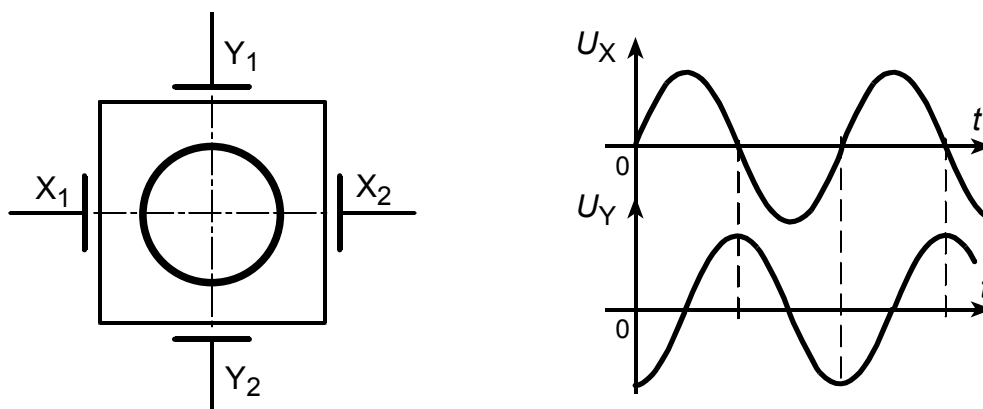


Рис. 3.5. Изображение на экране ЭЛТ при подаче на ОП сигналов с фазовым сдвигом $\pi/2$

5. Если на обе пары ОП подать противофазные напряжения, то на экране электронный луч сформирует линию, проходящую через центр экрана по углом минус 45° (рис. 3.4).

6. При подаче на пластины синусоидальных сигналов, сдвинутых на $\pi/2$, в центре на экране отобразится окружность (рис. 3.5).

Примечание: почему мы видим линии на экране? Если бы глаз человека был совершенным, т.е. обладал бы бесконечно большой скоростью восприятия информации, то человек видел бы перемещение точки по экрану. Поскольку глаз является инерционным органом, человек видит на экране светящуюся линию при достаточно большой частоте входного сигнала. Если частоту входного сигнала сделать маленькой ≈ 1 Гц, то глаз будет видеть перемещение светящейся точки.

Изображение, полученное на экране осциллографа под действием двух синусоидальных сигналов, поступающих на пластины горизонтального и вертикального отклонения одновременно, называется **фигурой Лиссажу**. По виду данной фигуры можно определить фазовый сдвиг между двумя синусоидальными сигналами с одинаковой частотой. В общем случае фигура, получаемая на экране осциллографа, представляет собой эллипс (рис. 3.6). Фазовый сдвиг, в градусах, рассчитывается по формуле:

$$\varphi = \arcsin\left(\frac{A}{B}\right),$$

если размеры синусоид на экране одинаковы.

Измерение разности фаз методом фигур Лиссажу можно производить только с помощью двухканального осциллографа, работающего в специфическом *режиме X-Y*.

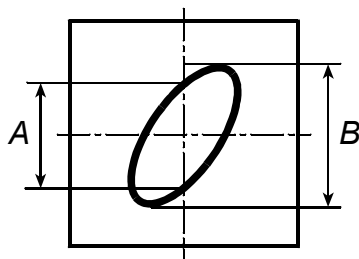


Рис. 3.6. Фигура Лиссажу. A – расстояние между точками пересечения эллипса и центральной вертикальной линии экрана; B – максимальный размер эллипса по вертикали

Режим X-Y позволяет получить зависимость между двумя величинами в декартовой системе координат на экране осциллографа. Например, данный режим позволяет получать на экране осциллографа вольт-амперные характеристики диода, стабилитрона, петли гистерезиса магнитных материалов и др. Режим X-Y является специфическим и используется достаточно редко. В обычном режиме, называемом *классическим*, исследуемый сигнал подается на ВОП, а на ГОП – линейноменяющееся напряжение (рис. 3.7), называемое *напряжением развертки (развертка)*, вырабатываемое *генератором развертки (генератор пилы)*.

Если на пластины горизонтального отклонения подавать только напряжение развертки, то на экране будет наблюдаться горизонтальная светящаяся линия развертки. За время прямого хода светящаяся точка перемещается с постоянной скоростью из крайнего левого положения в крайнее правое. За время обратного хода практически равного нулю, светящаяся точка практически мгновенно возвращается в крайнее левое положение.

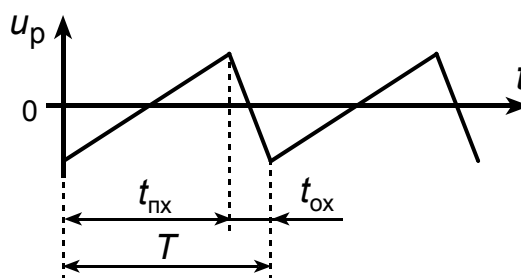


Рис. 3.7. Диаграмма напряжения развертки (пилы)

В простейшем случае изображение на экране будет неподвижно только когда период исследуемого сигнала равен, либо кратен, в меньшую сторону, периоду напряжения развертки. Для получения устойчивого изображения исследуемого сигнала в осциллографе осуществляется **синхронизация** напряжения развертки с исследуемым сигналом. БС вырабатывает импульсы, запускающие ГР синхронно с изменением исследуемого сигнала. На рис. 3.8 приведены диаграммы напряжений на отклоняющих пластинах для входного синусоидального сигнала. БС запускает ГР, когда напряжение на входе достигает уровня запускающего напряжения $U_{\text{зап}}$ на каждом периоде синусоиды. На экране ЭЛТ отображается только часть исследуемого сигнала, в течение которой действует напряжение развертки.

Различают два вида синхронизации **внутренняя** и **внешняя**. При внутренней синхронизации (переключатель Π_2 – в положении «Внутр.») запуск ГР осуществляется непосредственно самим входным сигналом. В режиме внешней синхронизации (переключатель Π_2 – в положении «Внеш.») ГР запускается внешним сигналом, поступающим на вход внешней синхронизации. Очевидно, что если нет внешнего сигнала, то нет и развертки.

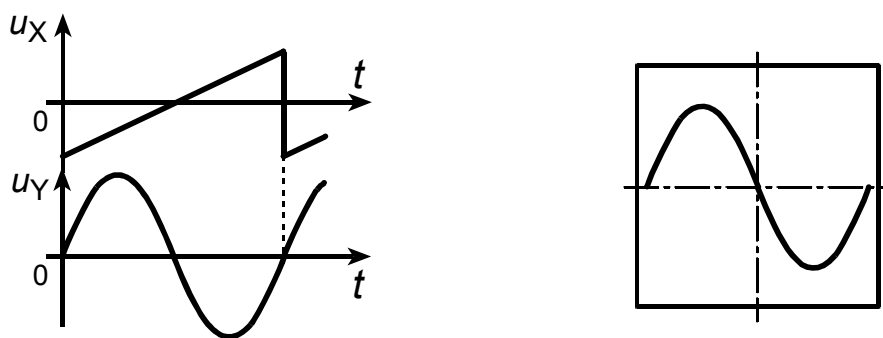


Рис. 3.8. Диаграммы напряжений на ОП и изображение на экране ЭЛТ

Существует два режима работы генератора развертки **ждущий** и **автоколебательный (автоматический)**. В ждущем режиме схема синхронизации блока синхронизации производит отбор поступающих сигналов по величине и полярности (критерии задаются внешними органами управления). Если эти параметры соответствуют требуемым, блок БС вырабатывает импульсы, запускающие ГР синхронно с входными сигналами,

и на экране ЭЛТ формируется соответствующее изображение. При несоответствии параметров сигналов ГР не запускается, следовательно, изображение на экране отсутствует.

В автоколебательном режиме БС и ГР работают аналогично ждущему режиму. Если входные сигналы не соответствуют требованиям или вовсе отсутствуют на входе осциллографа, ГР работает с частотой приблизительно равной 100 Гц. Таким образом, в этом случае синхронизация отсутствует, поэтому в данном режиме на экране наблюдаются «нечеткие» («бегущие») осциллограммы.

Принцип действия осциллографа по функциональной схеме

Входной сигнал последовательно поступает на аттенюатор А и усилитель УВО, где нормируется по величине (усиливается или ослабляется) до уровня удобного для наблюдения. Усиленный сигнал поступает на пластины вертикального отклонения ЭЛТ и одновременно, при внутренней синхронизации, запускает генератор развертки, вырабатывающий пилообразное напряжение. Генератор развертки выдает сигнал на УГО, где пилообразное напряжение усиливается до требуемой величины. Усиленная пила поступает на горизонтальные отклоняющие пластины ЭЛТ. Таким образом, на экране ЭЛТ появляется видимое изображение входного сигнала.

Переключатель Π_1 задает состояние входа У. Положение переключателя «АС» соответствует «закрытому» входу, т.к. конденсатор препятствует прохождению постоянной составляющей сигнала, следовательно, на экране будет отображаться осциллограмма сигнала без постоянной составляющей. В положении «DC» (открытый вход) на экране виден непосредственно входной сигнал.

Блок питания БП вырабатывает необходимые питающие напряжения, поступающие на все функциональные блоки осциллографа.

В режиме X-Y переключатель Π_3 отключает ГР и подключает вход X непосредственно к усилителю УГО.

3.2. Устройство и принцип действия цифрового осциллографа

Цифровой осциллограф - это конструктивное объединение аналогового осциллографа и электронно-вычислительной машины. На рис. 3.9 приведена упрощенная структурная схема цифрового осциллографа.

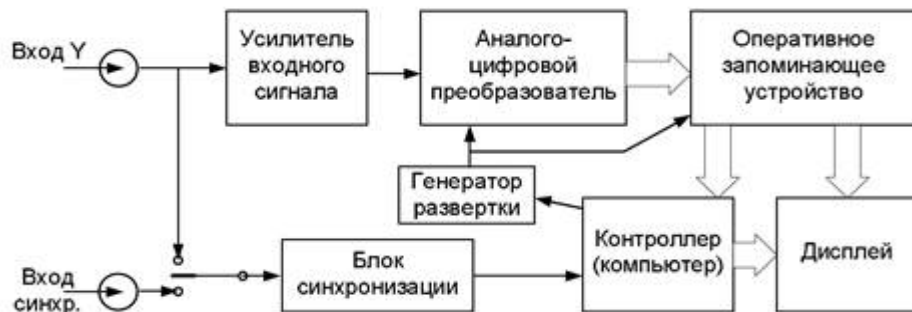


Рис. 3.9. Упрощенная структурная схема цифрового осциллографа

Главной частью цифрового осциллографа является контроллер или компьютер, который через органы управления обеспечивает связь осциллографа с пользователем, а также управляет всеми узлами осциллографа.

Исследуемый входной сигнал $Y(t)$ через усилитель входного сигнала попадает на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП), который с частотой, определяемой генератором *развертки*, производит оцифровку мгновенных значений входного сигнала. Частоту генератора развертки (частоту дискретизации) можно изменять в широких пределах, что соответствует изменению масштаба по горизонтали и аналогично изменению скорости развёртки в аналоговых осциллографах.

На выходе АЦП входной сигнал представлен дискретной последовательностью кодовых (цифровых) слов, которые записываются в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ). Запись данных в ОЗУ осуществляется таким образом, что каждое новое значение вытесняет из ОЗУ наиболее старое по времени значение.

Для получения устойчивого изображения исследуемого сигнала в осциллографе осуществляется *синхронизация* напряжения развертки с исследуемым сигналом. Если выбранный для синхронизации сигнал соответствует заданным в настройках параметрам (полярности, уровню) блок синхронизации сообщает об этом контроллеру, который производит оцифровку следующих точек исследуемого сигнала, а затем останавливает генератор развертки. Последняя запись точек в ОЗУ отображается на экране дисплея. Каждой ячейке ОЗУ соответствует точка на экране по цвету отличающаяся от фона. Её горизонтальная координата определяется номером ячейки, а вертикальная кодовым словом, находящемся в этой ячейке. Таким образом, пользователь видит на дисплее изображение входного сигнала или

осциллограмму. Осциллограмма – это построенная с помощью осциллографа кривая, отражающая параметры какого-либо колебательного процесса. Высокая скорость работы современных электронных схем приводит к тому, что пользователь видит изображение на экране цифрового осциллографа практически в реальном времени.

Используя возможности компьютера цифрового осциллографа, можно не только наблюдать входные сигналы в реальном времени, но и выполнять различные математические операции с ними: усреднять входной сигнал для уменьшения шума, складывать и вычитать сигналы в разных каналах, растягивать во времени фрагменты записанного в память сигнала, определять частотный спектр сигнала путём применения быстрого преобразования Фурье, измерять различные параметры входных сигналов (амплитуда, частота, период и т.п.). Кроме того многие модели цифровых осциллографов способны выводить изображение с экрана на печатающее устройство (принтер), записывать оцифрованный входной сигнал на носители информации - дискеты или устройства хранения на основе флеш-памяти ("флешки"), передавать накопленные данные на компьютеры или даже в Интернет. Все эти возможности цифровых осциллографов приводят к тому, что они постепенно вытесняют все остальные виды осциллографов.

3.3. Техническое описание осциллографа RIGOL DS1052E

Общие сведения

Осциллографы RIGOL DS1052E имеют:

- цветной ЖК дисплей размером 5,7 дюйма;
- возможность сохранения данных, печати на принтер и обновления программного обеспечения через порт USB;
- регулировать яркость осциллограмм;
- возможность автоматической настройки нажатием одной кнопки (AUTO) для быстрого получения осциллограммы входного сигнала;
- сохранение осциллограмм во внутренней памяти, поддержка форматов CSV, BMP и PNG;
- функция увеличения фрагмента позволяет одновременно наблюдать всю осциллограмму сигнала и ее увеличенный фрагмент;
- автоматическое измерение 22 (20) параметров;
- измерение положения курсора, автоматически отслеживающего форму сигнала при его перемещении;
- автоматический покадровый регистратор формы сигнала позволяет автоматически регистрировать и воспроизводить осциллограммы;
- возможность быстрой автокалибровки пользователем;
- встроенные частотомер и быстрое преобразование Фурье (БПФ или FFT);

- цифровые фильтры: нижних частот (ФНЧ), верхних частот (ФВЧ), полосовой (ПФ), режекторный (РФ);
- функцию допусковой проверки Pass/Fail, оптически изолированный выход Pass/Fail;
- математические функции для осциллограмм: сложение, вычитание и умножение;
- расширенный набор режимов запуска: по фронту (Edge), по видеосигналу (Video), по длительности импульса (Pulse), по скорости нарастания (Slope), чередование каналов (Alternative), по определенному шаблону логического состояния (Pattern);
- регулируемый уровень запуска;
- многоязыковый пользовательский интерфейс;
- всплывающее меню, легкость понимания и простота использования;
- систему встроенной многоязыковой помощи;
- поддержку файловой системы при вводе наименований файлов на китайском и английском языках.

На рис. 3.10 изображена передняя панель двухканального осциллографа серии DS1000CA. На передней панели располагаются регуляторы и кнопки. Регуляторы используются чаще всего, и действие их в целом подобно аналогичным регуляторам любого осциллографа. С помощью кнопок можно непосредственно использовать определенные функции, а также вызывать на экран меню, для выбора пунктов которого используются специальные кнопки, расположенные вертикально рядом с экраном.

Обозначения кнопок и регуляторов такие же, что и на передней панели прибора.

- Кнопка с рамкой обозначает кнопку функции меню на передней панели, например **MEASURE**.

- Знак (⦿) обозначает многофункциональный регулятор ⦿.

- Знак **POSITION** обозначает трехпозиционный регулятор положения осциллограммы на экране.

- Знак **SCALE** обозначает регулятор масштаба.

- Знак **LEVEL** обозначает регулятор уровня запуска (синхронизации).

Наименование с серым фоном обозначает выбранное текущее состояние для пункта меню, например, Waveform в меню Storage.

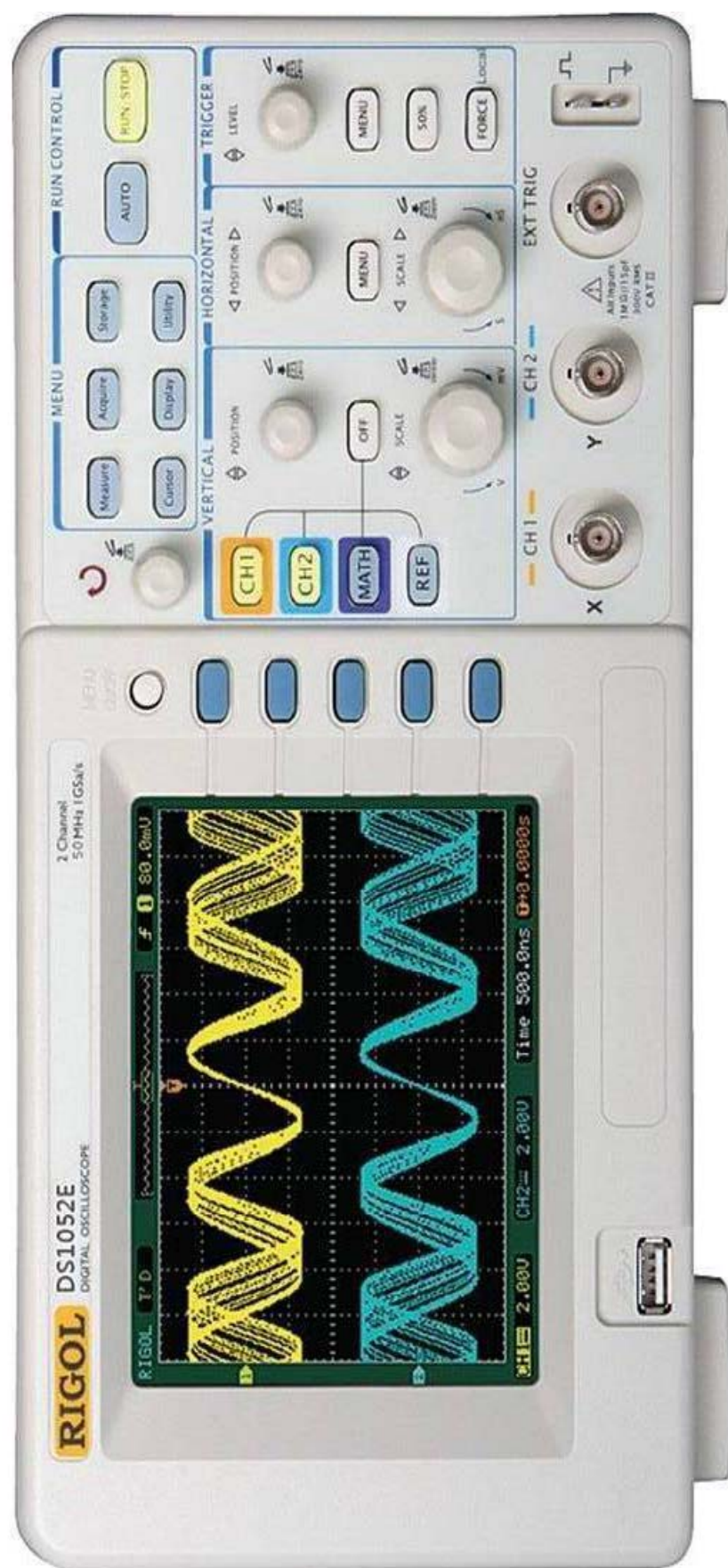


Рис. 3.10. Лицевая панель осциллографа RIGOL DS1052E

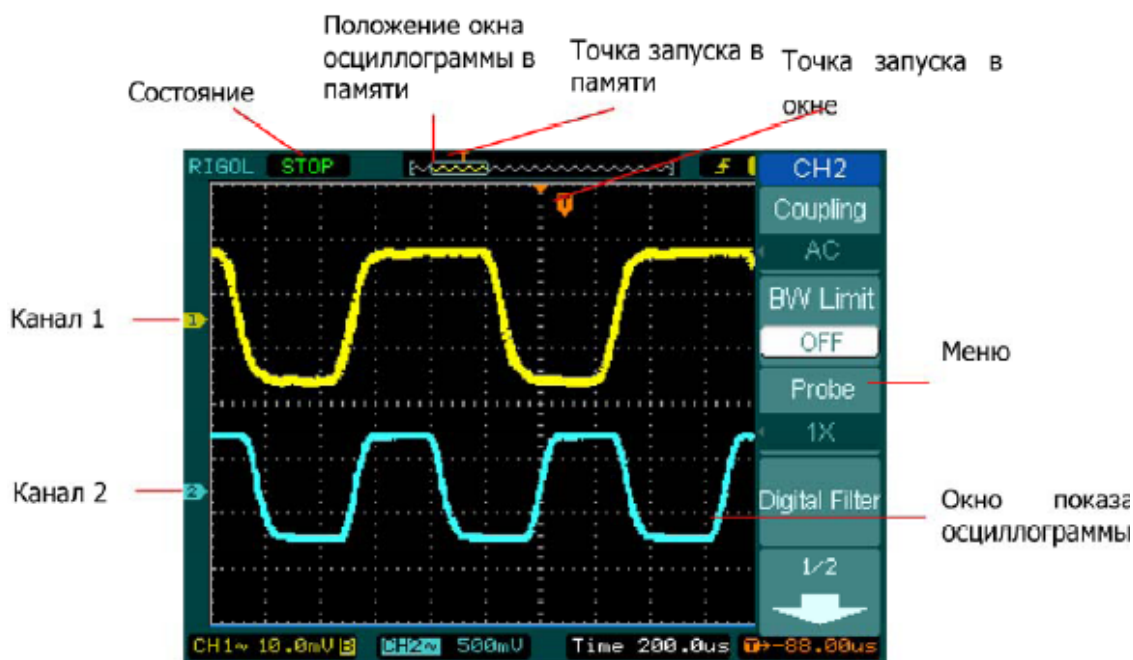


Рис. 3.11. Вид экрана осциллографа

Автоматическое получение осциллограммы сигнала

Осциллограф серии DS1000 имеет функцию автоматической оптимальной настройки для получения осциллограммы входного сигнала на экране. Эта функция требует, чтобы входной сигнал имел частоту не менее 50 Гц и коэффициент заполнения (скважность) не ниже 1%.

При нажатии кнопки **AUTO** осциллограф автоматически выберет значение настроек каналов горизонтального и вертикального отклонения и системы запуска для получения на экране осциллограммы входного сигнала. Впоследствии можно корректировать настройки вручную для получения требуемого результата.

Органы управления канала вертикального отклонения

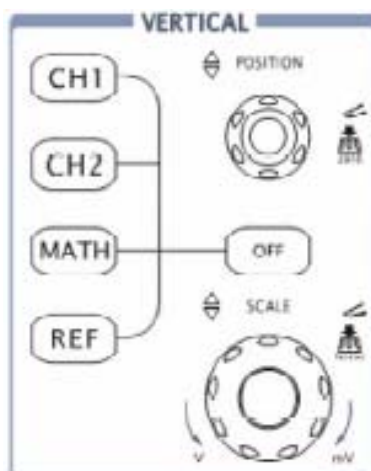


Рис. 3.12. Канал вертикального отклонения

1. Перемещение осциллограммы сигнала на экране по вертикали при помощи регулятора **POSITION**.

Регулятор **POSITION** позволяет перемещать осциллограмму сигнала по вертикали, это перемещение калибровано. При повороте регулятора значение напряжения некоторое время отображается на экране, указывая, удаление нулевого уровня (земли) сигнала от центра экрана. Маркер нулевого уровня (земли) на левой стороне экрана перемещается в соответствии с поворотом регулятора **POSITION**.

2. Быстрое перемещение осциллограммы в центр экрана

Вращением регулятора **POSITION** переместите осциллограмму сигнала по вертикали и нажмите на ручку регулятора, при этом положение осциллограммы мгновенно вернется к нулю. Этот режим ускоренного переключения особенно полезен, когда положение осциллограммы находится далеко за экраном, и необходимо немедленно вернуть ее в центр экрана.

Органы управления канала горизонтального отклонения

На рис. 3.13 показаны кнопка **MENU**, регуляторы **SCALE** и **POSITION** канала горизонтального отклонения - зоны "HORIZONTAL". Следующие примеры помогут Вам понять их действие и отображение соответствующей информации в строке состояния.

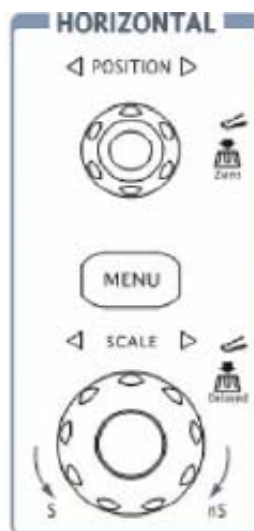


Рис. 3.13. Канал горизонтального отклонения

1. Вращая ручку SCALE, наблюдать за изменением графы состояния.

Регулятор **SCALE** изменяет коэффициент развертки в соответствии с шагом 1-2-5, значение отображается в левом верхнем углу дисплея.

Осциллографы RIGOL DS1052E обеспечивают коэффициент горизонтальной развертки от 5 нс/ДЕЛ до 50 с/ДЕЛ.

Регулятор **POSITION** перемещает отображаемый сигнал по горизонтали в окне осциллограмм.

2. Регулятор **POSITION** перемещает отображаемый сигнал по горизонтали в окне осциллограмм.

При вращении регулятора **POSITION** происходит смещение осциллограммы по горизонтали.

3. Нажмите кнопку **MENU** для показа меню **Time**.

В этом меню Вы можете включить или выключить режим увеличения фрагмента, выбрать режим отображения на дисплее Y-T, X-Y или ROLL и вращением регулятора горизонтального положения установить положение момента запуска.

Органы управления синхронизацией

На рис. 3.14 показана зона “**TRIGGER**” передней панели, содержащая регулятор уровня запуска **LEVEL** и кнопки **MODE**, **MENU**, **FORCE**, **50%**. Следующие примеры помогут Вам понять действие органов управления запуском (зоны “**TRIGGER**”) и отображение соответствующей информации в строке состояния.



Рис. 3.14. Блок синхронизации на передней панели осциллографа

Нажатие кнопки **MODE** переключает вид режима запуска между **Автоматическим** (автоколебательный), **Нормальным** (ждущий) и **Однократным**.

1. Вращая регулятор уровня запуска LEVEL, наблюдайте за происходящими изменениями на экране.

При вращении регулятора LEVEL, можно наблюдать, что на экране появляется линия запуска, знак запуска и величина уровня. При прекращении вращения регулятора LEVEL, линия запуска, знак запуска и величина уровня исчезают в течение 5 секунд.

2. Изменяя настройки запуска, наблюдайте за изменением информации в строке состояния.

Нажать кнопку **MODE** в зоне "TRIGGER".

На экране появится меню Trigger, показывая возможные настройки системы запуска с помощью функциональных кнопок. На рис. 3.15 показано меню Trigger.



Нажмите кнопку **Mode** (Режим) и выберите **Edge**

Нажмите кнопку **Source** (Источник сигнала для запуска (синхронизации) осциллографа) и выберите **CH1**

Нажмите кнопку **Slope** (Наклон) и выберите нарастающий фронт 

Нажмите кнопку **Sweep** (Размах) и выберите **AUTO** (Автоматический)

Нажмите кнопку **Set Up** для вызова на экран следующего **Set Up**.

Рис. 3.15. Меню блока синхронизации «Trigger»

3. Кнопка 50%

При нажатии кнопки **50%** устанавливается уровень запуска на середину размаха сигнала.

Работа с осциллографом

Установки канала вертикального отклонения

Для каждого канала осциллографа Rigol DS1052E имеется собственное меню управления, которое появляется после нажатия кнопок **CH1**, **CH2**. Настройки и их значение указано в таблице 3.1.

Таблица 3.1



Меню	Установки	Комментарии
Coupling (Типы связи)	AC	Закрытый вход - блокируется компонента постоянного тока входного сигнала.
	DC	Открытый вход – пропускаются обе компоненты и постоянного, и переменного тока входного сигнала.
	GND	Отключает входной сигнал и замыкает вход усилителя канала на землю.
BW Limit (Предел полосы пропускания)	(ON) (OFF)	Ограничивает ширину полосы пропускания канала до 20 МГц для уменьшения отображаемых шумов на экране. Полная полоса пропускания
Probe (пробник)	0.001X : 1000X	Коэффициент ослабления пробника для отображения на экране реальных значений напряжения
Digital Filter (Цифровой фильтр)		Установки цифрового фильтра
		1/2
Меню	Установки	Комментарии
		2/2
Volts/Div (Вольт/Дел)	Coarse (Грубо)	Выбирает разрешение для регулятора SCALE ; в соответствии с рядом 1-2-5.
	Fine (Нормально)	Переход к более мелкому шагу.
Invert (Инверсия)	ON	Включает инверсию сигнала
	OFF	Возвращает к нормальному виду сигнала
Unit (Единица измерения)	V/ A/ W/ U	Устанавливает V/ A/ W/ U как единицу для канала вертикального отклонения.
Input (Вход)	50Ω 1MΩ	Клавиша выбора входного сопротивления 50Ω или 1MΩ

Установки канала горизонтального отклонения

Осциллограф отображает текущее значение горизонтального масштаба в строке состояния - время на деление. Поскольку для всех отображаемых осциллограмм используется одна и та же временная развертка, то прибор показывает только одно значение горизонтального масштаба для всех отображаемых каналов, кроме случая, когда Вы используете увеличение фрагмента (**Delayed**) или чередование каналов при запуске (**Alternate**). Горизонтальные элементы управления позволяют изменять горизонтальные масштаб и положение осциллограмм. Горизонтальный центр экрана - точка начала отсчета времени для осциллограмм. Изменение горизонтального масштаба приводит к растягиванию или сжатию осциллограммы относительно центра экрана.

Регулятор горизонтального положения изменяет отображаемое положение осциллограммы относительно момента запуска.

Органы управления

 POSITION	изменяет горизонтальное положение осциллограмм всех каналов (включая MATH). Чувствительность этого регулятора зависит от установленной длительности развертки. Нажатие на ручку этого регулятора сбрасывает установленное ранее смещение момента запуска и перемещает его в нулевое положение в центр экрана.
 SCALE	позволяет выбрать значение горизонтальной развертки ВРЕМЯ/ДЕЛ. для основной осциллограммы или ее растянутого фрагмента. Если включен режим увеличения фрагмента, ширина окна фрагмента изменяется при изменении коэффициента горизонтальной развертки.

Меню канала горизонтального отклонения

Нажмите кнопку **MENU** зоны "HORIZONTAL" для вызова на экран меню канала горизонтального отклонения. Установки этого меню приведены в следующей таблице 3.2.

Таблица 3.2

	Меню	Установк и	Комментарии
	Delayed (Задержка)	ON OFF	Включение режима увеличения фрагмента осциллограммы Выключение режима увеличения фрагмента осциллограммы
	Time Base	Y-T	Отображение зависимости

	(Временная база)	X-Y Roll	напряжения (ось Y) от времени (ось X) Отображение зависимости значения CH2 по оси Y от значения CH1 по оси X. Режим "самописец", когда осциллограмма обновляется на экране справа на лево.
	Trig-Offset Reset (Сброс смещение триггера)		Установка момента запуска в центр экрана.

Важные замечания

Y-T: основной режим визуализации осциллографа. Показывает зависимость напряжения зарегистрированной формы сигнала (по вертикальной оси) от времени (по горизонтальной оси).

X-Y: отображает соотношение напряжения сигнала канала 1 по горизонтальной оси и напряжения сигнала канала 2 по вертикальной оси.

Режим X-Y позволяет получить зависимость между двумя величинами в декартовой системе координат на экране осциллографа. Например, данный режим позволяет получать на экране осциллографа вольт-амперные характеристики диода, стабилитрона, петли гистерезиса магнитных материалов и др.

Roll (режим "самописец"): этот режим доступен только при установке коэффициента развертки 500 мс/ДЕ/1. или медленнее и режима запуска - автоматический (AUTO). В этом режиме отображение формы сигнала обновляется справа налево. В режиме "самописец" установки запуска и горизонтальное перемещение осциллограммы не действуют.

Slow Scan (режим медленного сканирования): этот режим доступен только при установке коэффициента развертки 50 мс/ДЕЛ. или медленнее и режима запуска - автоматический (AUTO). В этом режиме отображение формы сигнала обновляется слева направо. При выборе этого режима должна быть установлена связь по входу для канала измерения DC (открытый вход).

Time/Div (ВРЕМЯ/ДЕЛ.): горизонтальный масштаб, если регистрация сигнала остановлена (использованием кнопки RUN/STOP), то регулятор Time/Div растягивает или сжимает осциллограмму.

Установки системы запуска (синхронизации)

Режимы запуска

Осциллограф поддерживает ряд видов запуска развертки: Edge, Pulse, Video, Slope, Pattern и Alternative

Edge: запуск по фронту. Происходит, когда входной сигнал пересекает выбранный уровень напряжения в выбранном направлении (нарастание, спад или произвольным фронтом).

Pulse: запуск по длительности импульса. Этот режим запуска используется, чтобы захватить импульсы определенной длительности.

Video: запуск по видеосигналу. Используйте для запуска по полям или строкам от синхроимпульса стандартных видеосигналов.

Slope: запуск по скорости нарастания. Производится осциллографом при выполнении заданных условий по длительности и уровню для нарастающего (спадающего) перепада сигнала.

Pattern: запуск по определенному шаблону логического сигнала.

Alternate: поочередный запуск от каналов CH1 и CH2 для одновременного наблюдения двух несинхронизированных сигналов.

Запуск по фронту (Edge).

Запуск по фронту происходит при выявлении точка с заданным уровнем на заданном (нарастающем или спадающем) фронте сигнала. Выбирайте этот режим, если необходим запуск по нарастающему фронту, спадающему фронту или произвольному фронту.

Важные замечания по системе запуска

1. Источник запуска

Для запуска (синхронизации) осциллографа могут использоваться различные источники: входные каналы (CH1, CH2, напряжение сети (AC Line), внешний сигнал через вход запуска (EXT) или внешний сигнал с ослаблением в 5 раз (EXT/5).

•CH1, CH2

Это наиболее часто используемые источники запуска. Канал может быть выбран как источник запуска вне зависимости будет или нет, его сигнал отображается на экране.

•внешний запуск (EXT)

При регистрации сигналов поступающих на входы CH1, CH2, запуск осциллографа может быть произведен от другого внешнего источника сигнала подключенного к специальному входу внешнего запуска. Например, Вы хотите использовать в качестве пускового сигнала внешний тактовый генератор или сигнал от другой части проверяемой схемы. Режимы источника запуска EXT или EXT/5 используют внешний запускающий сигнал, поданный на вход осциллографа EXT TRIG. При выборе режима EXT сигнал используется непосредственно, диапазон уровня запуска для этого режима от + 0.6 В до - 0.6 В. При выборе режима EXT/5 сигнал, поступающий на вход EXT TRIG, ослабляется в 5 раз, что расширяет диапазон уровня запуска от + 3 В до - 3 В. Это позволяет использовать для запуска осциллографа сигнал большей амплитуды.

•напряжение сети: (AC Line)

При регистрации сигналов, связанных с частотой питающей сети, например, от осветительного оборудования или источников питания, для синхронизации может быть использована сеть переменного тока. Сигнал для запуска осциллографа в этом случае поступает через его собственный сетевой шнур, поэтому не требуется дополнительное подключение входа запуска к источнику переменного тока. Если в качестве источника запуска выбрана AC Line, то осциллограф автоматически устанавливает для системы запуска связь по постоянному току (DC) и нулевой уровень запуска.

2. Режимы развертки

Режим развертки определяет поведение осциллографа всего момента пуска. Осциллограф предлагает три режима развертки: автоматический (AUTO), ждущий (Normal) и однократной регистрации (Single).

•автоматический (AUTO)

Этот режим развертки позволяет получать изображение входного сигнала, даже когда не происходит выполнения условий запуска. Осциллограф ожидает выполнения условий запуска в течение определенного периода времени (определяется длительностью развертки) и при отсутствии требуемого пускового сигнала произведет автоматический запуск регистрации. В случае такого автоматического запуска процесс отображения осциллограммы на экране не синхронизован с самим сигналом. Однако при появлении требуемого пускового сигнала изображение на экране становится стабильным. Любой фактор, вызывающий нестабильность формы сигнала, может быть обнаружен при этом режиме запуска развертки. Пример использования - проверка выхода источника питания.

ПРИМЕЧАНИЕ: при установке коэффициента развертки более 50 мс/дел автоматический запуск развертки не обеспечивается.

•ждущий (Normal)

Ждущий режим позволяет осциллографу регистрировать форму сигналов только при выполнении условий запуска. При отсутствии выполнения этих условий осциллограф ждет их появления и на экране сохраняется предыдущая осциллограмма, если она была зарегистрирована.

•однократный (Single)

В режиме однократной регистрации после нажатия кнопки RUN/STOP осциллограф будет ожидать выполнения условий запуска. При их выполнении осциллограф произведет однократную регистрацию и остановится.

3.Типы связи (Coupling)

Тип связи системы запуска определяет, какие из компонент сигнала поступают в систему. Типы связи включают: связь по переменному току

(AC), связь по постоянному току (DC), пропускание низких частот (HF Reject), пропускание высоких частот (LF Reject).

- **AC:** связь по переменному току блокирует компоненту постоянного тока.

- **DC:** при связи по постоянному току пропускаются все компоненты и переменного, и постоянного тока.

- **LF Reject:** связь через ФВЧ блокирует компонент постоянного тока и ослабляет все сигналы с частотой ниже 8 кГц.

- **HF Reject:** связь через ФНЧ ослабляет все сигналы с частотой выше 150кГц.

4. Информация о сигнале до и после запуска

Данные о сигнале регистрируются как до, так и после момента запуска. Положение момента запуска, как правило, устанавливается в горизонтальном центре экрана. При этом на всем экране можно наблюдать информацию о сигнале по 6 делений до и после момента запуска. Больше информации о сигнале до или после момента запуска можно получить, изменяя положение момента запуска с помощью регулятора горизонтального положения **POSITION** (до 14 делений до запуска или вводя задержку запуска до 1 с). Эта возможность очень полезна тем, что Вы можете наблюдать события, предшествующие моменту запуска. Все что находится справа от точки запуска, называется информацией после запуска. Длительность регистрируемой информации относительно момента запуска (информация до и после запуска) зависит от выбранного коэффициента развертки.

5. Регулируемый гистерезис (чувствительность) уровня запуска

Чтобы избежать влияния внешних шумов и получить устойчивый запуск, у осциллографов серии DS1000 дополнительно предусмотрен регулируемый гистерезис уровня схемы запуска с диапазоном регулировки от 0.1 деления до 1.0 деления. Допустим, установлен гистерезис 1.0 деления. - это означает, что схема запуска не будет реагировать на сигнал, если его размах не превышает установленный уровень запуска более 1.0 дел. Таким образом, можно избежать влияния помех.

Автоматическая калибровка

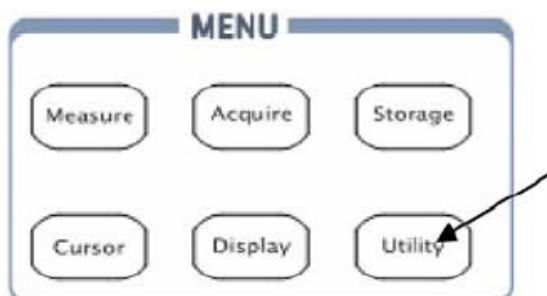


Рис. 3.16. Расположение на передней панели кнопки Utility

Процедура автокалибровки настраивает внутренние схемы осциллографа для получения максимальной точности. Используйте эту функцию для калибровки каналов вертикального и горизонтального отклонения осциллографа.

Для постоянного обеспечения максимальной точности следует выполнять процедуру автокалибровки при изменении температуры окружающей среды на 5 градусов и более.

Перед тем, как осуществить эту процедуру, сделайте следующее:

1. Отсоедините все пробники и кабели от входов каналов, в противном случае это может привести к ошибке или повредить осциллограф.
2. Нажмите кнопки **Utility** и **Self-Cal**.

Экран при автокалибровке показан на рис. 3.17. Процедура автокалибровки занимает несколько минут.



Рис. 3.17. Экран при автокалибровке

RUN/STOP

Кнопка **RUN/STOP** позволяет запустить или остановить процесс регистрации формы сигнала.

ЗАМЕЧАНИЕ

До осуществления процедуры автокалибровки осциллограф должен непрерывно работать или быть прогрет **не менее 30 минут**.

Измерение напряжения

Для того, чтобы измерить напряжение нужно выбрать тип связи (Coupling) – DC. Далее выбрать необходимое значение Volts/Div (Вольт/Деление). Напряжение будет равным количеству делений от нулевой

отметки экрана осциллографа, до того сигнала, напряжение которого нужно измерить. В зависимости от изменения Volts/Div цена деления будет изменяться.

Измерение временных параметров

Осциллографы серии RIGOL DS1000 обеспечивают автоматическое измерение временных параметров (не стоит забывать и про автоматическое измерение амплитудных параметров), Цифровой осциллограф обеспечивает погрешность измерения временных до 0,01%.

Наиболее существенным при определении погрешности измерения временных интервалов является погрешность установки частоты опорного генератора.

3.4. Особенности эксплуатации осциллографа

Определение потенциального провода сигнального кабеля

Соединение со входом осциллографа производится с помощью коаксиального сигнального кабеля, состоящего из центрального – потенциального провода, помещенного в медную оплетку другого – экранирующего «земляного» провода. Каждый из проводов кабеля припаян к специальному штекеру. Поскольку зачастую неизвестно как подключены штекера в сигнальном кабеле, до проведения измерений следует определить его потенциальный и «земляной» провода (концы), выполнив следующие действия:

а) Подготовить осциллограф к проведению измерений, например, каналом 1.

б) В меню канала выбрать режим открытого DC или закрытого входа AC.

в) Провести тестирование. Касаясь пальцем руки одного из штекеров (второй висит в воздухе) сигнального кабеля, наблюдайте за картинкой на экране. Если касание приводит к сильному искажению или пропаданию линии на экране, то вы тестируете потенциальный конец сигнального кабеля. Если же касание пальцем не приводит к достаточно заметным изменениям в картинке, вы тестируете «земляной» конец кабеля.

Синхронизации

Синхронизация обеспечивает устойчивое изображение на экране осциллографа. Схема синхронизации «привязывает» момент запуска генератора развертки к определенному моменту исследуемого сигнала в соответствии с параметрами, заданными в меню установок, и уровнем линии синхронизации, изменяемым ручкой регулятора LEVEL (уровень) в блоке синхронизации «Trigger». Таким образом, схема синхронизации запускает генератор развертки всегда в один и тот же момент исследуемого сигнала. В

результате на экране наблюдается устойчивое изображение сигнала. В большинстве случаев отсутствие синхронизации наблюдается при слишком малом уровне входного сигнала, который можно подрегулировать ручкой LEVEL. При вращении ручки LEVEL появляется горизонтальная линия (линия уровня синхронизации) песочного цвета, перемещающаяся вертикально на экране. При отсутствии синхронизации необходимо ручкой LEVEL установить линию уровня синхронизации не больше амплитуды сигнала, используемого для синхронизации.

Запрещенные режимы и действия при работе с осциллографом

Соблюдение приведенных требований гарантирует безопасную эксплуатацию прибора:

1. Эксплуатация прибора без его заземления запрещена!
2. Запрещается превышать предельные эксплуатационные параметры, предусмотренные техническими данными прибора.
3. Запрещается подключение «земляных» концов сигнальных кабелей обоих каналов в точки схемы с разными потенциалами, т.к. «земли» 1 и 2 каналов соединены между собой через металлический корпус прибора. Указанное соединение может привести закорачиванию цепей исследуемой схемы, а, следовательно, к потере работоспособности как самой схемы, так и подключенного к ней лабораторного оборудования.

Осциллографирование электрических сигналов

Осциллограф позволяет измерять амплитудные и временные параметры электрических сигналов. В электрическую цепь прибор включается **параллельно**, поскольку отображает, исключительно, осциллограммы напряжения. Для исследования тока с помощью осциллографа в разрыв цепи включается **шунт** – низкоомный резистор с известным сопротивлением, мало влияющий на исследуемую цепь, с которого непосредственно снимается осциллограмма напряжения.

Процесс осциллографирования (получение осциллограмм) заключается в измерении линейных размеров изображений на экране осциллографа и их пересчете в напряжение и время. Для измерения линейных размеров на экране идицируется измерительная сетка-шкала, состоящая из крупных (клетки) и мелких делений. Крупные деления шкалы – клетки принято называть делениями. Точность измерений осциллографом зависит от размера картинка на экране. Чем крупнее картинка, тем выше точность! **«Паспортная» точность измерения осциллографом обеспечивается при минимальном размере изображения сигнала на экране осциллографа (для измеряемого параметра) не менее 4-х делений шкалы!**

Осциллограф позволяет получать, так называемые **сфазированные осциллограммы**, представляющие собой изображения двух сигналов на экране осциллографа, построенные (сформированные) для одних и тех же моментов времени (для единой оси времени). Другими словами, у сфазированных осциллограмм вертикальные оси – разные, а временные (горизонтальные) – одинаковые. Примеры сфазированных осциллограмм приведены на рис. 3.8.

Проведение измерений осциллографом

Подготовьте осциллограф к работе. После включения питания прогрейте прибор в течение 30 минут для обеспечения точностных характеристик. Выполните автокалибровку осциллографа.

Горизонтальные линии (разного цвета: 1 канал – желтого цвета, 2 канал – голубого цвета) ручкой VERTICAL POSITION совместите с одной из горизонтальных линий экранной шкалы. Таким образом, задается начало отсчета – **нулевая линия или линия отсчета**, относительно которой будут производиться дальнейшие измерения.

Выполните следующие действия:

1. В меню каждого канала установить "PROBE $\times 1$ ".
2. Отключить инверсию сигнала в меню каждого канала.
3. Установить желаемый режим работы канала "AC" или "DC".
4. Определить сигнальные провода обоих каналов осциллографа.

Переключатель TIME/DIV установить в произвольное положение. При неизвестном значении измеряемого напряжения переключатель VOLTS/DIV установить в крайнее левое положение (соответствующее минимальной чувствительности). В противном случае (если известно приблизительное значение измеряемого сигнала) переключатель установить в необходимое положение. Далее следуйте приведенным ниже инструкциям.

(1) Измерение постоянного напряжения

Для измерения постоянного напряжения установить в меню первого канала CH1 в разделе Coupling выбрать режим «DC» – открытый вход. Переключатель TIME/DIV установить в произвольное положение. Наблюдая за отклонением луча по вертикали, подать на вход осциллографа исследуемый сигнал. Если луч отклонился вверх, то измеряемое напряжение положительное, если вниз – отрицательное. Увеличивая чувствительность осциллографа, переключателем VOLTS/DIV добейтесь смещения, наблюдаемой линии от ранее заданной нулевой линии на несколько клеток-делений шкалы. Измеряемое напряжение рассчитывается по формуле:

$$U_x = N_d \cdot C_U,$$

где N_d – число делений, на которое отклонился луч относительно нулевой линии; C_U – коэффициент отклонения (отображается в нижней строке экрана, показывает количество вольт в одной клетке шкалы экрана).

(2) Измерение амплитуды переменного напряжения

Измерение амплитуды переменного напряжения осуществляется следующим образом. Предварительно необходимо задать линию отсчета в средней части экрана. В меню выбранного для измерений канала осциллографа в разделе Coupling установить заданный режим «АС» – закрытый вход, однако если постоянная составляющая в исследуемом сигнале относительно мала, то можно вход открыть. Подать на один из входов исследуемый сигнал. Манипулируя ручками VOLTS/DIV и TIME/DIV, установить такие коэффициенты отклонения, чтобы полный размах изображения на экране по вертикали занимал не менее 4-х клеток, а по горизонтали наблюдалось 2-3 периода исследуемого сигнала. Амплитуда напряжения рассчитывается по формуле:

$$U_m = \frac{\Delta N \cdot C_U}{2},$$

где ΔN – размах сигнала по вертикали, выраженный в делениях шкалы.

(3) Измерение временных интервалов

Используя ручки перемещения луча по вертикали и горизонтали, желательно поместить измеряемый интервал в центр экрана. Переключателем «TIME/DIV» установите длину измеряемого временного интервала на экране не менее 4-х делений шкалы.

Длительность временного интервала рассчитывается по формуле:

$$t_x = N \cdot C_t,$$

где N – число делений шкалы, которое составляет временной интервал; C_t – значение коэффициента развертки (индицируется в нижней строке экрана).

(4) Измерение с помощью функции Cursor

Описанные методы измерения осциллографом являются базовыми и могут применяться во всех типах осциллографов. Цифровые осциллографы имеют более гибкие инструменты для измерения различных параметров. Один из таких инструментов – функция **Cursor** (курсорные измерения).

Функция Cursor включается нажатием кнопки Cursor на лицевой панели осциллографа. Всплывающее на экране меню имеет следующие вкладки: Mode, Type, Source, CurA, CurB.

Функция курсорные измерения имеет три режима (Mode): ручной (Manual), слежение (Track) и автоматические измерения (Auto).

Ручной (Manual). В этом режиме на экране курсоры отображаются в виде двух параллельных линий. Пользователь имеет возможность перемещать линии курсоров для выбора измеряемых интервалов времени и

напряжения на осциллограмме. Измеренные значения будут отображаться в рамках рядом с меню.

Слежение (Track). В этом режиме курсоры на экране отображаются в виде двух перекрестий. Перекрестье курсора устанавливает свое положение на линии сигнала автоматически. Пользователь может перемещать курсоры в горизонтальном направлении вдоль линии осциллограммы сигнала вращением многофункционального регулятора . Осциллограф отображает значения координат в рамках рядом с меню.

Автоматические измерения (Auto). Этот режим визуально отображается только совместно с режимом автоматического измерения. Осциллограф автоматически будет отображать с помощью курсоров физический смысл измеряемых параметров.

Вкладка **Type** выбирает ось для измерений: X или Y.

Вкладка **Source** выбирает канал для измерений: CH1, CH2 или MATH.

Вкладки **CurA** и **CurB** выбирают линии курсоров. Доступно 2 курсора.

3.5. Параметры электрических импульсов

Все параметры электрических импульсов делятся на три группы: основные, производные и дополнительные.

Основные параметры

Данная группа параметров характерна для всех видов электрических сигналов независимо от их формы:

Амплитуда – U_m , В – величина максимального отклонения импульсного сигнала от начального уровня U_0 .

Длительность импульса – $t_{и}$, с – интервал времени от момента появления импульсного сигнала до его завершения. Если начало и конец импульса трудно выделить, то расчет $t_{и}$ ведут по уровню $0,1U_m$ либо по уровню $0,5U_m$ (рис. 3.18). В этом случае используют названия: $t_{и}$ – длительность импульса по основанию $0,1$ амплитуды; $t_{иа}$ – активная длительность импульса.

К основным параметрам также относится период T .

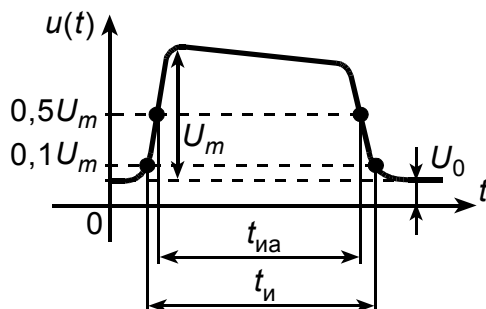


Рис. 3.18. Прямоугольный импульс с увеличенными во времени фронтами

Производные параметры

Параметры данной группы получаются из основных параметров путем пересчета:

1. Частота f рассчитывается по формуле:

$$f = \frac{1}{T}.$$

2. Коэффициент заполнения γ показывает какую часть периода составляет длительность импульса:

$$\gamma = \frac{t_{\text{и}}}{T} \leq 1.$$

3. Скважность q показывает во сколько раз период больше длительности импульса:

$$q = \frac{1}{\gamma} = \frac{T}{t_{\text{и}}} \geq 1.$$

Если скважность $q = 2$, то коэффициент заполнения $\gamma = 0,5$.

Дополнительные параметры

Параметры этой группы характеризуют специфику сигналов данного вида, следовательно, сколько видов импульсов, столько и групп параметров.

1. Дополнительные параметры квазипрямоугольных сигналов

Длительность фронта (передний фронт) $t_{\text{ф}}$, с – время от момента начала сигнала до момента достижения им максимального значения. Если временные моменты плохо различны (рис. 3.19), то $t_{\text{ф}}$ фиксируется от уровня $0,1U_m$ до уровня $0,9U_m$.

Длительность спада (среза) (задний фронт) $t_{\text{с}}$, с – временной интервал от максимального значения импульса до момента его завершения. Если спад плоской вершины отсутствует ($\Delta U = 0$), то $t_{\text{с}}$ находится также как $t_{\text{ф}}$. Если спад плоской вершины наблюдается (т. е. $\Delta U \neq 0$), то отмечается граничная точка ($U_{\text{гр}}$), где кончается плоская вершина и начинается спад импульса (рис. 3.19). Данная точка не является «жесткой», т.к. ее положение определяется каждым наблюдателем индивидуально. В этом случае время среза определяется как убывание сигнала от $0,9U_{\text{гр}}$ до $0,1U_{\text{гр}}$.

Коэффициент спада плоской вершины импульса

$$K_{\text{сп}} = \frac{\Delta U}{U_m} = \frac{U_m - U_{\text{гр}}}{U_m} = 1 - \frac{U_{\text{гр}}}{U_m}.$$

В отсутствие спада плоской вершины, т.е. $\Delta U = 0$, коэффициент спад равен нулю.

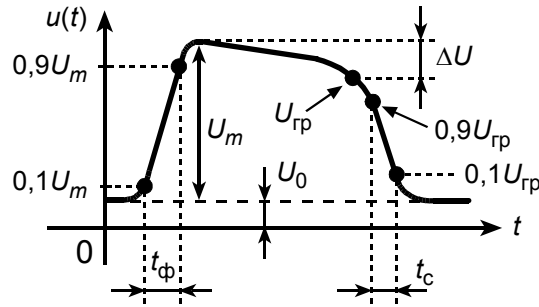


Рис. 3.19. Определение длительности переднего и заднего фронтов

2. Дополнительные параметры пилообразных сигналов

В отличие от прямоугольных пилообразные импульсы не имеют плоской вершины (рис. 3.20), следовательно, дополнительные параметры таких сигналов иные.

Длительность прямого хода $t_{\text{пх}}$, с – время нарастания сигнала от начального уровня U_0 до максимального U_m .

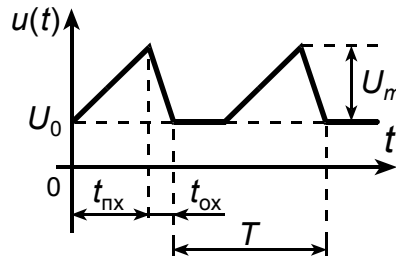


Рис. 3.20. Определение параметров пилообразного сигнала

Время обратного хода $t_{\text{ох}}$, с – время убывания сигнала от максимального значения до исходного.

Коэффициент нелинейности пилы $K_{\text{н}}$ – параметр, характеризующий относительное изменение скорости нарастания напряжения за время прямого хода:

$$K_{\text{н}} = \frac{\left. \frac{du(t)}{dt} \right|_{t=0} - \left. \frac{du(t)}{dt} \right|_{t=t_{\text{пх}}}}{\left. \frac{du(t)}{dt} \right|_{t=0}} = 1 - \frac{\left. \frac{du(t)}{dt} \right|_{t=t_{\text{пх}}}}{\left. \frac{du(t)}{dt} \right|_{t=0}},$$

где $\left. \frac{du(t)}{dt} \right|_{t=0}$ – скорость нарастания пики в начале прямого хода; $\left. \frac{du(t)}{dt} \right|_{t=t_{\text{пх}}}$ –

скорость нарастания пики в конце прямого хода. Поскольку геометрический смысл производной функции – тангенс угла наклона между касательной, проведенной к заданной точке пики и осью абсцисс (рис. 3.21), то коэффициент нелинейности пики можно определить, используя изображение пики, например, на экране осциллографа, по формуле:

$$K_{\text{н}} = 1 - \frac{\text{tg}\alpha_{\text{к}}}{\text{tg}\alpha_0},$$

где α_0 – угол наклона касательной в начале прямого хода пики ($t = 0$); $\alpha_{\text{к}}$ – угол наклона касательной в конце прямого хода пики ($t = t_{\text{пх}}$). В идеальном случае $K_{\text{н}} = 0$.

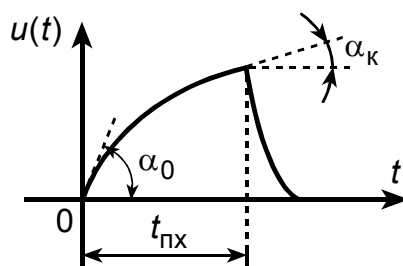


Рис. 3.21. Графическое определение $K_{\text{н}}$

Кроме рассмотренных, существует параметр, являющийся также общим для всех видов сигналов и характеризующий качество устройства формирования импульсов – **коэффициент использования питающего напряжения**

$$K_{\text{исп}} = \frac{U_m}{E_{\text{пит}}} \leq 1,$$

где $E_{\text{пит}}$ – напряжение источника питания. В идеальном случае $K_{\text{исп}} = 1$.

4. ПРОГРАММА И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

4.1. Ознакомиться практически с органами управления осциллографа. Подготовить осциллограф RIGOL DS1052E к работе. Включить прибор. Прогреть в течение 30 минут.

4.2. Выполнить автокалибровку осциллографа.

4.3. С помощью цифрового вольтметра (ЦВ) измерить сопротивления выданных преподавателем резисторов. Сопоставить результаты измерений с номинальным сопротивлением, указанным на корпусе элементов. Результаты измерений и расчетов погрешностей внести в таблицу. Сделать выводы.

4.4. Используя резисторы с номиналом $R_1 = 1 \text{ кОм}$ (или 10 кОм) и $R_2 = 560 \text{ Ом}$, собрать на монтажной панели схему резистивного делителя напряжения (рис. 4.1). В качестве входного напряжения используйте одно из постоянных напряжений: $+5 \text{ В}$; $+12 \text{ В}$ (по заданию преподавателя). Подключить выбранное напряжение к входу делителя. **Используя соответствующий режим работы ЦВ**, поочередно измерить, фиксируя результат, входное напряжение $U_{\text{вх}}$, напряжение на резисторе R_1 , выходное напряжение $U_{\text{вых}}$. Рассчитать входной ток делителя $I_{\text{вх}}$.

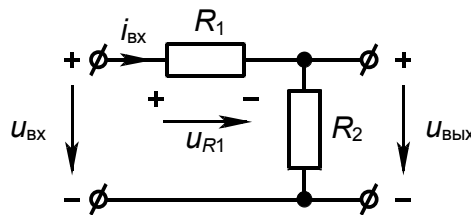


Рис. 4.1. Принципиальная схема резистивного делителя напряжения

Повторить процедуру, последовательно меняя сопротивление резистора $R_2 = 3 \text{ кОм}$; 5 кОм ; 10 кОм . Рассчитать коэффициент деления (передачи) делителя $K_{\text{дел}} = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ при каждом значении сопротивления резистора R_2 , сравнить полученные результаты с данными предварительных расчетов, определить погрешности эксперимента. Сделать выводы о свойствах и принципе действия схемы.

4.5. Используя модули с резистором $R = 10 \text{ кОм}$, 11 кОм , 12 кОм (сопротивление резистора задает преподаватель) и конденсатором $C = 47 \text{ нФ}$, собрать на наборном поле лабораторного стенда фазосдвигающую RC -цепь (рис. 4.2), обеспечивающую заданный фазовый сдвиг между входным и выходным гармоническими напряжениями φ_{KU} . Рассчитать частоту входного сигнала, при котором обеспечивается заданное значение φ_{KU} (уточнить у преподавателя).

Примечание. Формулы для расчета искомых параметров:
для RC -цепи, начинающейся с резистора:

$$f = \frac{-\text{tg}\varphi_{Ku}}{2\pi\tau}; \quad K_U = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{1}{\sqrt{1+(2\pi f\tau)^2}};$$

для RC -цепи, начинающейся с конденсатора:

$$f = \frac{1}{2\pi\tau\text{tg}\varphi_{Ku}}; \quad K_U = \frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{2\pi f\tau}{\sqrt{1+(2\pi f\tau)^2}},$$

где f – рабочая частота генератора GFG-8216A; $\tau = RC$ – постоянная времени цепи.

Пользуясь органами управления, установить на выходе функционального генератора GFG-8216A синусоидальное напряжение $U_m = 5$ В (контролировать с помощью осциллографа) с частотой, соответствующей рассчитанному значению. Подать данное напряжение на вход исследуемой цепи. Подключив осциллограф (канал 1 – к входу, а канал 2 – к выходу цепи), зарисовать сфазированные осциллограммы. Рассчитать коэффициент передачи цепи K_U , измерив осциллографом амплитуды входного и выходного сигналов. Определить φ_{KU} . Сравнить результаты измерений с теоретическими значениями и рассчитать погрешность измерений. Сделать выводы.

Примечание. Измерение φ_{KU} .

Поместить нулевые линии обоих каналов осциллографа на один уровень. Установить синхронизацию от 1-го канала (т.е. задать начальную фазу входного напряжения $\varphi_{U_{вх}} = 0$). Измерить временной интервал (t_x) между переходами синусоид через нулевую линию из «–» в «+» и период T одного из сигналов. Далее составляется пропорция:

$$\frac{t_x - \varphi_{KU}}{T - 2\pi (360^\circ)}$$

либо

$$\frac{t_x - \varphi_{KU}}{T/2 - \pi (180^\circ)}$$

Решая пропорцию, получаем φ_{KU} .

4.6. На монтажной панели собрать RC – цепь (вариант цепи уточнить у преподавателя), изображенную на рис. 4.2 с параметрами резистора и конденсатора, взятые из п.4.5. На вход цепи подать гармонический сигнал частотой величиной $U_{\text{вых ген}} = 1$ В от функционального генератора GFG8216A. Изменяя частоту генератора от 30 Гц до 30 кГц, снять зависимости (15-20 точек) коэффициента передачи $K_U = U_{\text{вых}}/U_{\text{вх}}$ и фазового сдвига исследуемой цепи $\varphi_{KU} = \varphi_{U_{\text{вых}}} - \varphi_{U_{\text{вх}}}$ от частоты. Построить полученные зависимости, определить полосы пропускания и подавления и тип фильтра.

4.7. На монтажной панели собрать RC -цепь (рис. 4.2), используя элементы с параметрами: $R = 1$ кОм (либо 1,2 кОм; 1,5 кОм; 3кОм); $C = 47$ нФ (либо 1 нФ, 6,2 нФ, 0,1 мкФ) – вариант схемы и номиналы элементов задаются преподавателем. Установить следующие параметры выходных импульсов функционального генератора: полярность – положительная, $f = 1$ кГц, $U_m = 5$ В.

Примечание. В исходном состоянии на выходе генератора GFG-8216A формируется двухполярный сигнал скважностью 2. Регулировка скважности осуществляется ручкой DUTY в режиме ADJ (ручку регулятора DUTY потянуть на себя). Для получения однополярного сигнала необходимо регулятор смещения сигнала OFFSET перевести в режим подстройки ADJ (ручку

регулятора OFFSET потянуть на себя). Контролируя выходной сигнал осциллографом, задать необходимые скважность и смещение.

Подать импульсы с генератора на вход схемы. С помощью осциллографа снять сфазированные осциллограммы: $u_{\text{вх}}(t)$ и $u_{\text{вых}}(t)$, представляя их в общем (1 период) и укрупненном виде с указанием параметров, подлежащих измерению. Сделать вывод о назначении цепи.

4.8. Повторить п.4.7. программы работы для значений $R = 110 \text{ кОм}$; $C = 47 \text{ нФ}$. Сравнить с диаграммами, полученными в п.4.7.



Рис. 4.2. RC – цепь, начинающаяся с конденсатора (а) и резистора (б).

4.9. Используя быстрое преобразование Фурье (функция FFT) осциллографа, изучите спектральный состав прямоугольного однополярного и двухполярного сигналов, синусоидального и пилообразного сигналов амплитудой 1 В и частотой 1 кГц. Сделайте выводы о спектральном составе каждого сигнала.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1. Цель работы.
2. Программа работы (кратко, без подробного описания действий).
3. Результаты выполнения каждого пункта программы (при необходимости):
 - принципиальные схемы исследуемых цепей (устройств);
 - результаты измерений, сведенные в таблицы;
 - сфазированные осциллограммы с указанием характерных параметров для всех сигналов.
4. Выводы (приводятся либо в конце каждого пункта по ходу выполнения, либо в конце работы).

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что такое осциллограф?
2. Поясните устройство электронно-лучевой трубки осциллографа.

3. Расскажите принцип действия осциллографа с ЭЛТ по функциональной схеме.
4. Что такое развертка? Нарисуйте диаграмму напряжения развертки. Поясните поведение электронного луча под действием напряжения развертки.
5. Укажите назначение режима X-Y. В чем его отличие от классического режима?
6. Назначение синхронизации в осциллографе? Как она осуществляется? Виды синхронизации?
7. Назовите наиболее часто встречающуюся на практике причину отсутствия синхронизации. Что делать, если нет синхронизации?
8. В чем заключается различие ждущего и автоколебательного режимов работы генератора развертки?
9. Как обеспечить «паспортную» точность измерения осциллографом?
10. Поясните смысл терминов «открытый» и «закрытый» вход осциллографа.
11. Как на практике определить потенциальный и «земляной» провод сигнального кабеля осциллографа?
12. Почему нельзя «земляные» концы сигнальных кабелей обоих каналов осциллографа подключать в точки схемы с разными потенциалами?
13. Как снять осциллограмму тока с помощью осциллографа?
14. Расскажите принцип действия цифрового осциллографа по структурной схеме.
15. Опишите органы управления и подключения осциллографа RIGOL DS 1052E.
16. Укажите, с пояснениями, возможные режимы работы каналов тракта вертикального отклонения луча.
17. Перечислите запрещенные режимы и действия при работе с осциллографом.
18. Выполнить задание. Повторить выполнение пункта 4.7 программы лабораторной работы. Результаты измерений продемонстрировать преподавателю. Описать алгоритм проведения требуемых измерений.

6. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ерофеев Ю.Н. Импульсные устройства: Учеб. пособие для вузов по спец. «Радиотехника». – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1989. – 527 с.
2. Розова Н.В. Электрические и радиотехнические измерения: учебное пособие / Н.В. Розова, С.И. Третьяков. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2005. – 107 с.
3. Руководство пользователя RIGOL. Осциллографы серии DS 1000, 2008 г.