

Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
Севастопольский национальный технический университет
Кафедра радиотехники и телекоммуникаций

Методические указания к выполнению
ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ №5
«ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА»
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «РАДИОИЗМЕРЕНИЯ»
для студентов ДФО и ЗФО специальности – Радиотехника

Севастополь 2011

УДК 621.317.08(075.8)

Методические указания к выполнению лабораторной работы «Исследование цифрового осциллографа» по дисциплине «Радиоизмерения» для студентов ДФО и ЗФО направления Радиотехника/Сост. И.Л. Ветров, — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2011. — 8 с.

Целью указаний является оказание помощи студентам в выполнении лабораторных работ. Излагаются основные теоретические сведения. Приводится описание лабораторных установок, программ и методик измерений, требования к содержанию отчет по лабораторным работам.

Указания предназначены для студентов дневной и заочной форм обучения направления «Радиотехника».

Методические указания рассмотрены и утверждены на заседании кафедры радиотехники и телекоммуникаций.

Протокол № _____ от _____ 2011г.

Допущено учебно-методическим центром СевНТУ в качестве методических указаний к выполнению лабораторного практикума по дисциплине «Радиоизмерения»

Рецензент: канд. техн. наук, доцент Зиборов С.Р.

Ответственный за выпуск: доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой радиотехники и телекоммуникаций Гимпилевич Ю.Б.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа «Исследование цифрового осциллографа»	3
1.1. Цель лабораторной работы.....	3
1.2. Теоретические сведения	3
1.2.1. Общие сведения.....	3
1.2.2. Аналоговые осциллографы	3
1.2.3. Цифровые осциллографы	4
1.2.4. Принцип действия цифрового запоминающего осциллографа.....	5
1.3. Порядок выполнения лабораторной работы.....	6
1.3.1. Описание лабораторной установки	6
1.4. Содержание отчета.....	7
1.5. Контрольные вопросы	8

1. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА

«ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИФРОВОГО ОСЦИЛЛОГРАФА»

1.1. Цель лабораторной работы

Целью лабораторной работы является изучение принципов построения цифровых осциллографов и приобретение навыков работы с цифровым осциллографом DS-1080.

1.2. Теоретические сведения

1.2.1. Общие сведения

В 1947 году американская фирма *Tektronix* выпустила первый промышленный аналоговый осциллограф *Tektronix Model 511*, на основе электронно-лучевой трубки (ЭЛТ). В 1980 году другая американская фирма *Le Croy Corporation* выпустила первый цифровой запоминающий осциллограф.

Осциллограф (лат. *oscillo* — качаюсь и *graph* — пишу) это контрольно-измерительный прибор, позволяющий контролировать такие характеристики сигнала, как форма, период, амплитуда, полярность или длительность. Наряду с мультиметрами, осциллографы являются наиболее распространенными контрольно-измерительными приборами.

Основная задача осциллографа состоит в визуализации временной зависимости напряжения $u(t)$, т. е. в построении осциллограммы. Полезная для пользователя информация выводится на экран осциллографа, который находится на передней панели вместе органами управления и регулировки. Все современные осциллографы имеют разметку экрана в виде координатной сетки. Горизонтальная ось экрана (ось X) соответствует оси времени и отградуирована в единицах времени, приходящихся на одно горизонтальное деление сетки экрана. Вертикальная ось (ось Y) соответствует оси напряжения и отградуирована в единицах напряжения, приходящихся на одно вертикальное деление сетки экрана. Иногда говорят о третьей шкале Z , которую связывают с яркостью изображения на экране осциллографа.

Обычно осциллограф комплектуется двумя типами соединительных кабелей, предназначенных для подключения осциллографа к исследуемой цепи. Эти кабели называют «прямой» и «аттенюаторный» и соответствующим образом маркируют. Прямой кабель передает сигнал без ослабления непосредственно на вход осциллографа. Аттенюаторный кабель снабжен щупом, содержащим резистор с большим сопротивлением. Сопротивление данного резистора вместе с входным сопротивлением осциллографа образует делитель напряжений. Коэффициент передачи делителя (обычно 1:100) указывается на корпусе щупа. Преимуществом аттенюаторного кабеля является меньшая по сравнению с прямым кабелем входная емкость.

1.2.2. Аналоговые осциллографы

По способу обработки входного сигнала осциллографы делят на аналоговые и цифровые. Аналоговые осциллографы состоят из следующих основных узлов (рис. 1.1): входной делитель напряжения ВДН, усилитель вертикального отклонения УВО, устройство синхронизации УС и генератор напряжения пилообразной формы ГНП, электронно-лучевая трубка ЭЛТ.

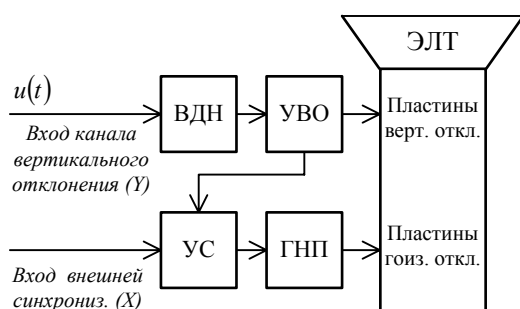


Рис. 1.1 — Упрощенная структурная схема аналогового осциллографа

В аналоговых осциллографах применяют ЭЛТ с электростатическим отклонением луча. С помощью электронной пушки формируется тонкий электронный луч, направленный в сторону экрана ЭЛТ. На внутренней стороне экрана ЭЛТ нанесен люминофор, светящийся в месте попадания электронного луча. Световое излучение люминофора проникает через стеклянную колбу ЭЛТ и образует на внешней стороне экрана ЭЛТ световое пятно, размеры которого практически равны толщине электронного луча. По пути к экрану электронный луч проходит между парой пластин вертикального отклонения и парой пластин горизонтального отклонения.

Вертикальное отклонение электронного луча, испускаемого электронной пушкой ЭЛТ, пропорционально напряжению, приложенному к пластинам вертикального отклонения. Синхронно с отклонением луча смещается по вертикали световое пятно на экране ЭЛТ.

Отклонение луча по горизонтали производится с помощью напряжения ГНП, поступающего на пластины горизонтального отклонения. Данное периодическое напряжение изменяется линейно во времени, обеспечивая отклонение светового пятна по горизонтали. Так осуществляется горизонтальная развертка изображения на экране осциллографа.

Устройство синхронизации вырабатывает импульсы, изменяющие период повторения напряжения пилообразной формы таким образом, что бы он был кратен периоду исследуемого напряжения $u(t)$. Этим обеспечивается неподвижность изображения на экране осциллографа. В качестве входного сигнала устройства синхронизации может использоваться как внутренний сигнал, так и внешний сигнал, подаваемый на специальный вход осциллографа. Если устройство синхронизации запускается внутренним сигналом, поступающим из усилителя вертикального отклонения, то говорят о режиме внутренней синхронизации осциллографа. При запуске устройства синхронизации внешним сигналом говорят о режиме внешней синхронизации осциллографа.

Нижняя рабочая частота осциллографа определяется временем послесвечения экрана ЭЛТ и обычно составляет около 10 Гц. На более низких частотах наблюдается сильное мерцание экрана и изображение на экране еще «читает»

ся». В случае применения специальных ЭЛТ с большим временем послесвечения экрана нижняя рабочая частота осциллографа может быть значительно уменьшена.

Верхняя рабочая частота осциллографа определяется в основном полосой пропускания усилителя вертикального отклонения и электрической емкостью отклоняющих пластин.

Современные аналоговые осциллографы имеют ряд важных дополнительных функций и возможностей. Они позволяют одновременно отображать несколько сигналов, используя общую для них развертку. Обычно осциллографы имеют два входных канала. Они позволяют одновременно в процессе работы отслеживать изменения двух электрических сигналов. В ряде осциллографов имеются курсоры с цифровым отсчетом напряжения и времени.

Достаточно большой набор функциональных возможностей, хорошие метрологические параметры в сочетании с относительно низкой стоимостью позволяет аналоговым осциллографам оставаться в ряду самых распространенных радиоизмерительных приборов.

1.2.3. Цифровые осциллографы

Цифровые осциллографы по сравнению с аналоговыми осциллографами обладают более широкими возможностями. Цифровые осциллографы (ЦО) разделяют на запоминающие, виртуальные, люминофорные и стробоскопические. В ЦО входной сигнал преобразуется в цифровую форму и записывается в память. Максимальная скорость записи (количество выборок в секунду) определяется быстродействием аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Аналого-цифровое преобразование сигнала позволяет запоминать сигнал и создать устойчивое его изображение на экране осциллографа, организовать сохранение результатов, упростить масштабирование сигнала, ввести дополнительные метки времени и амплитуды.

Использование вместо осциллографической трубки дисплея, напоминающего монитор компьютера, дает возможность отображения дополнительной информации и управления прибором с помощью меню. На рис. 1.2 показан пример изображения на дисплее цифрового запоминающего осциллографа.

Некоторые ЦО снабжены цветным дисплеем, позволяющим легко различать сигналы нескольких каналов, метки времени, амплитуды и др.

Современные ЦО имеют следующие характеристики: высокая чувствительность (от 1 мВ/дел), высокое разрешение экрана, широкий диапазон коэффициентов разверток, возможность масштабного преобразования сигнала по времени или по амплитуде в широких пределах и др.

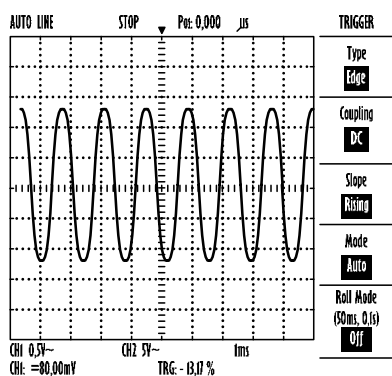


Рис. 1.2 — Пример изображения на экране ЦО

Наличие в цифровых осциллографах процессоров позволяет исследовать спектр сигнала посредством применением быстрого преобразования Фурье. Цифровое представление информации обеспечивает сохранение результатов измерения в памяти компьютера или вывод на принтер. Некоторые осциллографы имеют накопитель для сохранения информации в виде файлов, которые могут быть использованы для дальнейшей обработки.

Цифровые люминофорные осциллографы используют технологию отображения осциллограмм сигналов, имитирующую изменение яркости изображения, присущее аналоговым осциллографам. В таких осциллографах яркость участка осциллограммы зависит от скорости изменения исследуемого напряжения. Это существенно «оживляет» осциллограммы и улучшает эксплуатационные характеристики цифровых осциллографов.

Цифровые стробоскопические осциллографы позволяют анализировать быстротекущие периодические сигналы. Для расширения частотного диапазона в таких осциллографах используют стробоскопическое преобразование сигнала. Метод стробоскопического преобразования сигнала включает следующие операции:

1) представление сигнала рядом его мгновенных значений (дискретных отсчетов); 2) преобразованием временных интервалов между выборками; 3) восстановление непрерывного сигнала. Упрощенная структурная схема стробоскопического преобразователя сигнала изображена на рис. 1.3, а временные диаграммы, поясняющие его работу, показаны на рис. 1.4.

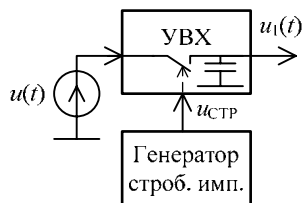


Рис. 1.3 — Функциональная схема стробоскопического преобразователя

Входное периодическое напряжение $u(t)$ поступает на сигнальный вход устройства выборки-хранения (УВХ). Основу УВХ составляет аналоговый электронный ключ и конденсатор (рис. 1.3). При замыкании электронного ключа конденсатор подключается к источнику $u(t)$ и быстро заряжается до уровня входного напряжения, т. е. осуществляет выборку мгновенного значения $u(t)$. При размыкании электронного ключа разрывается цепь разряда конденсатора и он сохраняет запомненное напряжение.

В рассматриваемом случае на сигнальный вход УВХ подано напряжение $u(t)$ пилообразной формы с периодом T (рис. 1.4, а), а на управляющий вход УВХ от генератора приходят короткие стробирующие импульсы $u_{СТР}$ (рис. 1.4, б). Длительность стробирующих импульсов существенно меньше T , а период следования $T_{СТР} = T + \Delta t$ превышает период $u(t)$ на величину $\Delta t \ll T$.

В момент прихода первого стробирующего импульса УВХ осуществляет выборку мгновенного значения напряжения $u(t)$ и запоминает на конденсаторе напряжение u_1 . Значения $u(t)$ в момент выборки отмечены на графике точками (рис. 1.4, а).

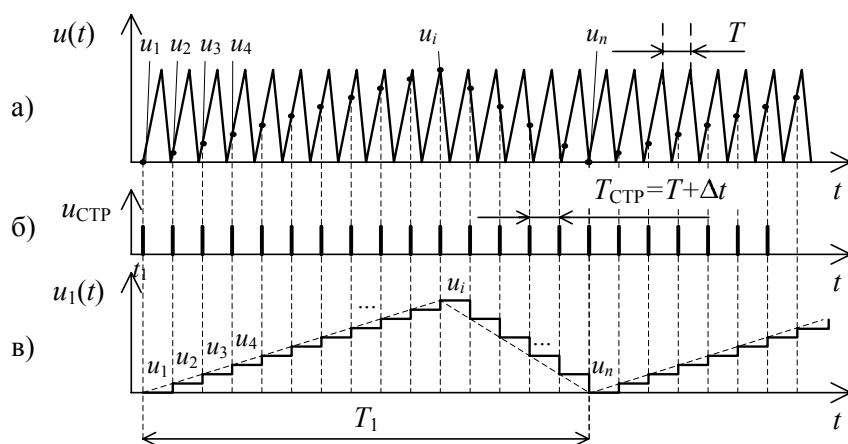


Рис. 1.4 — Временные диаграммы напряжений стробоскопического преобразователя

В следующем периоде $u(t)$, в момент прихода второго стробирующего импульса, УВХ осуществляет очередную выборку $u(t)$ и запоминает напряжение u_2 . Поскольку период $T_{\text{СТР}}$ стробоскопических импульсов равен $T + \Delta t$, то напряжения u_1 и u_2 соответствуют значения $u(t)$, сдвинутым по времени на Δt друг от друга. Третья выборка также сдвинута во времени относительно второй на Δt и УВХ запоминает напряжение u_3 .

Таким образом, на выходе УВХ формируется периодическое напряжение $u_1(t)$ ступенчатой формы, которое приблизительно повторяет форму напряжения $u(t)$, но «растянуто» во време-

ни. На рис. 1.4, в показано напряжение $u_1(t)$. Чем меньше Δt , тем меньше относительный временной сдвиг выборок, тем меньше величины «ступенек» напряжения $u_1(t)$ и тем точнее его форма повторяет форму напряжения $u(t)$.

Период T_1 напряжения $u_1(t)$ больше T и зависит от Δt . Величину $K_{\text{ВР}} = T_1/T = 1 + T/\Delta t$ называют коэффициентом масштабного преобразования (трансформации) времени. Поскольку T_1 больше T , то эффективная ширина спектра напряжения $u_1(t)$ в $K_{\text{ВР}}$ раз меньше эффективной ширины спектра напряжения $u(t)$. Таким образом, стробоскопическое преобразование сигнала позволяет получить «низкочастотную копию» сигнала, для исследования которой можно применить низкочастотный осциллограф. Применение стробоскопического преобразователя эквивалентно расширению полосы пропускания осциллографа в $K_{\text{ВР}}$ раз. Полоса пропускания стробоскопического осциллографа может достигать 100 ГГц, что позволяет исследовать сигналы с периодом повторения около 10^{-11} с.



Рис. 1.5 — Виртуальный осциллограф

Виртуальные осциллографы выполняются в виде приставок, подключаемых к персональному компьютеру через *USB* или параллельный порт ввода-вывода данных. Пример такого осциллографа показан на рис. 1.5. Также виртуальные осциллографы могут выполняться в виде встраиваемых в компьютер карт *PCI* или *ISA* шин. Программное обеспечение виртуального осциллографа дает возможность управления прибором с помощью персонального компьютера, а также предоставляет ряд сервисных возможностей, например: экспорт — импорт данных, математическая обработка сигналов, цифровая фильтрация и др.

Развитие цифровых технологий позволило преобразовать стационарные цифровые осциллографы в портативные осциллографы с малыми массогабаритными показателями и малым энергопотреблением. Причем

портативные приборы с питанием от батареек не уступают стационарным осциллографам по функциональным возможностям и находят широкое применение в различных отраслях производства, обслуживания и исследования.

1.2.4. Принцип действия цифрового запоминающего осциллографа

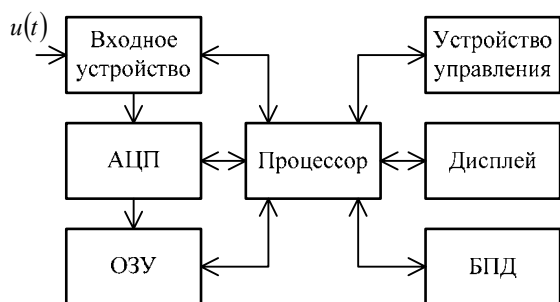


Рис. 1.6 — Упрощенная структурная схема цифрового осциллографа DS-1080

На рис. 1.6 показана упрощенная структурная схема цифрового запоминающего осциллографа DS-1080. Исследуемый сигнал $u(t)$ через входное устройство поступает в АЦП, который формирует последовательность отсчетов напряжения $u(t)$ в виде числовых кодов N_i , $i = 1, 2, 3, \dots, m$. Эта последовательность отсчетов записывается в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ), состоящее из достаточно большого числа m ячеек памяти. При записи в ОЗУ очередного отсчета N_i все предыдущие отсчёты сдвигаются на одну ячейку.

Процесс записи N_i в ОЗУ происходит непрерывно. Если в ОЗУ переполняется, т. е. приходит отсчет N_{m+1} , то первый отсчет N_1 исчезает, как бы «выталкивается» из ОЗУ. Таким обра-

зом, ОЗУ содержит m последних, «свежих» отсчетов напряжения $u(t)$.

Информация, поступающая из АЦП, контролируется процессором. При выполнении некоторого условия процессор осуществляет обработку накопленных в ОЗУ отсчетов. Примером условия, задаваемого оператором с помо-

щью устройства управления, может быть превышение текущим значением $u(t)$, а, по существу, очередным N_i , заданного уровня $N_{\text{ЗАД}}$. При выполнении условия $N_i > N_{\text{ЗАД}}$ содержимое некоторого числа k ячеек ОЗУ ($k < m$) переносится в блок памяти дисплея (БПД).

Каждой ячейке БПД соответствует яркостная точка в специальной графической области дисплея. В пределах графической области дисплея координата X яркостной точки определяется номером ячейки БПД, а координата Y значением отсчета $u(t)$, хранящегося в этой ячейке. Первая яркостная точка (крайняя левая) соответствует отсчету, удовлетворяющему условию $N_i > N_{\text{ЗАД}}$. За ней, со сдвигом вправо, высвечиваются точки, соответствующие последующим отсчетам напряжения $u(t)$, формируя изображение $u(t)$ в графической области дисплея.

Частоту отсчетов (частоту дискретизации) можно изменять в широких пределах, что соответствует изменению масштаба изображения по горизонтали и аналогично изменению скорости развёртки в аналоговых осциллографах.

Для изменения масштаба изображения по вертикали, как и в аналоговых осциллографах, можно изменять коэффициент передачи входного устройства.

Рассмотренный режим работы цифрового осциллографа по существу повторяет режим работы аналогового осциллографа. Это не единственный из возможных режимов работы цифрового осциллографа. Наличие встроенного процессора и большой объем запоминаемой информации об исследуемом сигнале позволяют анализировать частотный спектр сигнала, вычислять действующее, амплитудное, среднее и средневывпрямленное значения сигнала, осуществлять цифровую фильтрацию сигнала.

1.3. Порядок выполнения лабораторной работы

1.3.1. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из следующих приборов: цифровой осциллограф *DS-1080* вольтметр переменного напряжения ВЗ-36, синтезирующий функциональный генератор *SFG-2110*.

Цифровой осциллограф *DS-1080* выступает в роли исследуемого измерительного прибора. Вид передней панели осциллографа *DS-1080* показан на рис. 1.7. На ней расположены кнопка включения «*POWER*», графический дисплей и органы управления, условно объединенные в группы: *S* — разъемы для подачи исследуемых сигналов и сигнала внешней синхронизации; *F* — клавиатура дисплея; *M* — клавиатура меню; *H* — органы управления каналом горизонтального (по оси X) отклонения; *T* — группа органов управления синхронизацией изображения; *V* — группа органов управления каналами вертикального (по оси Y) отклонения.

Для удобства описания осциллографа в пределах каждой группы органы управления обозначены цифрами. Так, обозначение *F1* указывает на верхнюю кнопку клавиатуры дисплея.

Функциональный генератор *SFG-2110*, передняя панель которого показана на рис. 1.7, позволяет синтезировать гармоническое переменное напряжение, переменное напряжение пилообразной формы и переменное напряжение в виде последовательности прямоугольных импульсов.

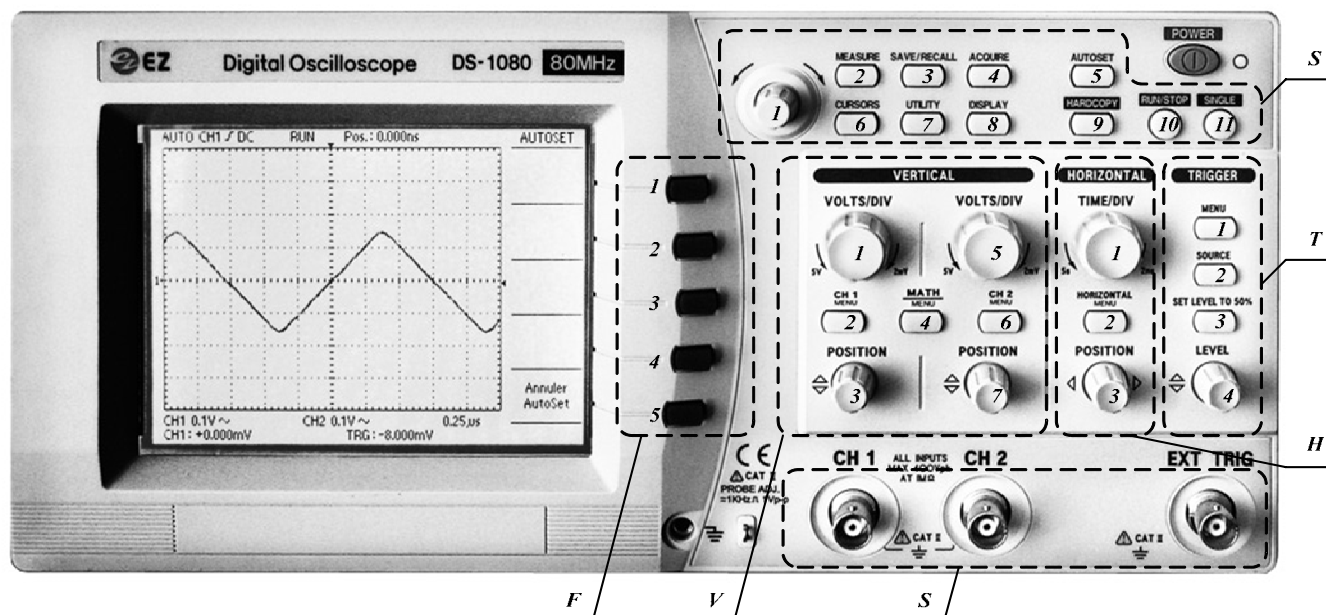


Рис. 1.7 — Передняя панель осциллографа *DS-1080*

Вольтметр ВЗ-36 является аналоговым вольтметром средневывпрямленного значения переменного напряжения с закрытым входом, отградуированным в действующих значениях гармонического напряжения.

5.4.1. Соберите измерительную установку, показанную на рис. 1.8.

5.4.2. Включите вольтметр, генератор и осциллограф нажатием кнопок «*POWER*», расположенных на передней панели приборов, и дайте прогреться приборам 15 минут.

5.4.3 Нажатием кнопки «*WAVE*», установите гармоническую форму выходного напряжения $u(t)$ генератора (на дисплее генератора появится знака «~»).

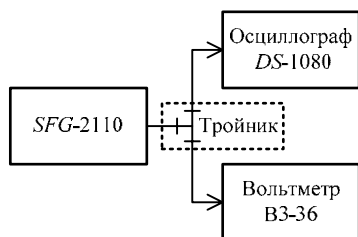


Рис. 1.8 — Измерительная установка

5.4.4. Установите частоту генератора $f_{\Gamma} = (d+1)$ кГц, где d — последняя цифра числа текущего месяца и занесите значение f_{Γ} в соответствующую графу таблицы 1.1. Для установки частоты $u(t)$ наберите на цифровой клавиатуре генератора значащие цифры значения частоты и введите единицы измерения (MHz, kHz или Hz). Например, для установки частоты 7,5 кГц необходимо нажать кнопки: «7», «.», «5», «kHz».

5.4.5. Регулируя выходное напряжение генератора с помощью ручки «*AMPL*», добейтесь показания вольтметра ВЗ-36, равного $U_B = 0,5 N$ вольт, где N — номер бригады студентов, выполняющей лабораторную работу. Занесите значение U_B в соответствующую графу таблицы 1.1

5.4.6. Получите изображение сигнала в режиме автонастройки осциллографа посредством нажатия кнопки «*AUTOSET*» (*M5*). На дисплее должно появиться устойчивое изображение нескольких периодов исследуемого сигнала.

Таблица 1.1 — Результаты измерения параметров напряжения

Форма $u(t)$	f_{Γ} , Гц	U_B , В	f , Гц	δ_f , %	T , сек	δ_T , %	U , В	δ_U , %	U_{pp} , В	δ_{pp} , %	U_M , В
Гармоническая											
Пилообразная											

5.4.7. Установите режим измерения параметров сигнала нажатием кнопки «*MEASURE*». В правой части дисплея появятся окна, каждое из которых может индизировать один из параметров исследуемого напряжения. Нажатием соответствующей кнопки $F1 \dots F5$ производят выбор индизированного параметра из «прокручиваемого» списка:

NONE — пусто;

Pk-Pk — размах напряжения;

RMS — действующее значение напряжения;

Mean — среднее значение напряжения;

Frequency — частота;

Period — период,

+Width — длительность положительной части одного периода колебания;

-Width — длительность отрицательной части одного периода колебания;

Duty — относительная длительность импульса;

Rising Time — время нарастания напряжением

Falling Time — время спада напряжения.

5.4.8. Настройте окна дисплея следующим образом:

окно кнопки $F1$ на индикацию f — частоты;

окно кнопки $F2$ на индикацию T — периода;

окно кнопки $F3$ на индикацию U_{pp} — размаха напряжения;

окно кнопки $F4$ на индикацию U — действующего значения напряжения;

окно кнопки $F5$ на индикацию U_M — среднего значения напряжения.

5.4.9. Результаты измерения параметров напряжения занесите в соответствующие графы таблицы 1.

5.4.10. Используя полученные результаты, рассчитайте относительные погрешности

$$\text{измерения частоты } \delta_f = \frac{f - f_{\Gamma}}{f_{\Gamma}} \cdot 100 \% ;$$

$$\text{периода колебаний } \delta_T = (f_{\Gamma} T - 1) \cdot 100 \% ;$$

$$\text{действующего значения напряжения } \delta_U = \frac{U - U_B}{U_B} \cdot 100 \% ;$$

$$\text{размаха напряжения } \delta_{pp} = \frac{U_{pp} - 2\sqrt{2} \cdot U_B}{2\sqrt{2} \cdot U_B} \cdot 100 \% .$$

1.4. Содержание отчета

Отчет о лабораторной работе должен содержать:

— цель работы;

— расчетные формулы и таблицы результатов;

— выводы по результатам работы.

1.5. Контрольные вопросы

1. Какие измерительные задачи можно решать с помощью осциллографа?
2. Для какой цели осциллографы комплектуют «прямым» и «аттенуаторным» кабелями?
3. Нарисуйте упрощенную структурную схему аналогового осциллографа и поясните назначение его узлов.
4. Назовите основные разновидности цифровых осциллографов.
5. Какие устройства отображения формы сигнала используются в аналоговых и цифровых осциллографах?
6. Нарисуйте упрощенную схему стробоскопического преобразователя и поясните принцип его работы.
7. Что такое коэффициент масштабного преобразования времени и от чего зависит его значение?
8. Для какой цели в осциллографах применяют стробоскопические преобразователи.
9. Нарисуйте упрощенную структурную схему цифрового осциллографа и поясните принцип его работы.
10. какие параметры сигнала можно измерять с помощью цифрового осциллографа?.

Литература по теме лабораторной работы: [1, с. 241 — 249], [3, с. 85 — 99], [6, с. 269 — 272], [7, с. 138 — 143]

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кукуш В.Д. Электрорадиоизмерения/В.Д. Кукуш. — М.: Радио и связь, 1985.— 368 с.
2. Кушнир Ф.В. Измерения в технике связи / Ф.В. Кушнир, В.Г. Савенко, С.М. Верник. — М.: Высш. шк., 1976. — 432 с.
3. Мирский Г.Я. Электронные измерения / Г.Я. Мирский. — М.: Радио и связь, 1986 — 440 с.
4. Основы метрологии и электрические измерения. Учебник для вузов / Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, Е.М. Душин и др.; Под ред. Е.М. Душина. — 6 изд., перераб. и доп. — Л.: Энергоатомиздат, 1987. — 480 с.
5. Измерения в электронике: Справочник / В.А. Кузнецов, В.А. Долгов, В.М. Коневских и др.; Под ред. В.А. Кузнецова. — М.: Энергоатомиздат, 1987. — 512 с.
6. Нефедов В.И. Метрология и радиоизмерения / В.И. Нефедов, А.С. Сигов, В.К. Битюков. — М.: Высш. шк., 2006. — 526 с.
7. Дворяшин Б. В. Основы метрологии и радиоизмерения. Учебное пособие для вузов / Б. В. Дворяшин. — М.: Радио и связь, 1993. — 320 с.
8. Измеритель L , C , R универсальный Е7-11. Техническое описание и инструкция по эксплуатации / НИИРИТ. — Каунас: НИИРИТ, 1980. — 97 с.