

Обучающие материалы для преподавателя по осциллографу DSO1000



Лабораторное
руководство и
учебное
пособие для
студентов
электротехнических и
физических
факультетов

Уведомления

© Keysight Technologies, Inc., 2008-2012

Согласно авторскому праву на настоящий учебный материал, разрешается печать, изменение и распространение всего документа или его части с целью обучения студентов работе с испытательным оборудованием компании Keysight.

Номер руководства

54136-97009

Редакция

Май 2012 г.

Только в электронном формате

Keysight Technologies, Inc.
1900 Garden of the Gods Road
Colorado Springs, CO 80907 USA

Гарантия

Материалы данного документа предоставлены на условии «как есть» и в последующих редакциях могут быть изменены без предварительного уведомления. Более того, в максимально разрешенной соответствующим законом степени компания Keysight отказывается от каких-либо явных или подразумеваемых гарантий в отношении данного руководства и содержащихся в нем сведений, включая, но не ограничиваясь

подразумеваемыми гарантиями коммерческой выгоды и пригодности для конкретного использования. Компания Keysight не несет ответственности за ошибки в аннотационном документе, а также за случайные или косвенные убытки, понесенные в связи с доставкой, использованием либо выполнением инструкций данного документа или содержащихся в нем сведений. Если между компанией Keysight и пользователем заключено отдельное письменное соглашение, гарантийные условия которого распространяются на материалы данного документа и противоречат настоящим условиям, приоритет имеют положения отдельного соглашения.

Лицензии на использование технологий

Аппаратное и (или) программное обеспечение, описанное в настоящем документе, предоставляется по лицензии и может быть использовано или скопировано только в соответствии с условиями таковой.

Пояснения относительно ограничения прав

Если данное ПО предназначено для работ по исполнению основного контракта или договора подряда с Правительством США, то, согласно положениям DFAR 252.227-7014 (июнь 1995 г.), оно поставляется и лицензируется как «коммерческое программное обеспечение», или, согласно положениям статьи FAR 2.101(a), как «коммерческий продукт» или как «программное обеспечение ограниченного использования», согласно положениям FAR 52.227-19 (июнь 1987 г.) или любых налоговых правил или условий контракта. Использование, копирование или раскрытие данного ПО подпадает под условия стандартной коммерческой лицензии Keysight Technologies, и необоронные министерства и ведомства Правительства США имеют

ограниченные права на его использование в соответствии с положениями статьи FAR 52.227-19(c) (1-2) (июнь 1987 г.). Согласно статье FAR 52.227-14 (июнь 1987 г.) или статье DFAR 252.227-7015 (b) (2) (ноябрь 1995 г.), Правительство США имеет ограниченные права на использование технических данных.

Уведомления по безопасности

CAUTION

Надпись **ОСТОРОЖНО** предупреждает об опасности. Ею обозначаются процедуры или приемы работы, неправильное выполнение либо необлюдение которых может привести к повреждению прибора или потере важных данных. Выполнение действий, о которых идет речь в предупреждении **ОСТОРОЖНО**, допустимо только при полном понимании и соблюдении всех указанных требований.

WARNING

Надпись **"ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ"** сообщает об опасности. Ею обозначаются процедуры или приемы работы, неправильное выполнение либо несоблюдение которых может привести к серьезным травмам или представлять угрозу для жизни. Выполнение действий, о которых идет речь в примечании **"ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ"**, допустимо только при полном понимании и соблюдении всех указанных требований.

Лабораторное руководство и учебное пособие — краткий обзор

Данное лабораторное руководство по осциллографам и учебное пособие для студентов электротехнических и физических факультетов предназначено для использования с осциллографами Keysight Technologies серии DSO1000.

Примечание для преподавателя электротехнического и физического факультетов

Уважаемый преподаватель электротехнического и физического факультетов и/или лаборант!

Настоящее лабораторное руководство по осциллографам и учебное пособие для студентов электротехнических физических факультетов для осциллографов Keysight серии DSO1000 состоит из семи отдельных практических лабораторных работ, в ходе выполнения которых студенты ознакомятся с осциллографом и способом его использования. Осциллограф представляет собой универсальный измерительный прибор, наиболее часто используемый студентами по сравнению с любыми другими инструментами, для проверки цепей и проведения запланированных экспериментов, а также для проверки более серьезных опытно-конструкторских работ. Выпускники университетов и будущи специалисты в области современной электроники будут также активно использовать осциллографы во время работы. Поэтому крайне важно предоставить им опыт работы с этим незаменимым инструментом.

На выполнение каждой лабораторной работы потребуется порядка 15–20 минут. Эти лабораторные работы рассчитаны на выполнение с осциллографами Keysight серии 1000. Прежде чем студенты впервые приступят к проведению любых запланированных экспериментов в лаборатории по изучению цепей, в качестве предварительной подготовки (домшней работы) рекомендуется ознакомиться с разделом 1, а также приложениями А и В настоящего документа. В разделе 1 содержится обзор осциллографа и основы по выполнению измерений. В приложениях А и В представлены кратие учебные пособия с описанием принципа работы осциллографа и полосы пропускания.

На первом занятии в лаборатории студенты должны выполнить практические лабораторные работы из раздела 2 нстоящего документа. Уже после выполнения лабораторных работ № 1 и № 2 студенты должны обладать базовыми знаниями по использованию осциллографа, однако если есть время на выполнение всех семи лабораторных работ, студенты получат более профессиональные знания по работе с осциллографом, включая навыки по документированию и сохранению результатов для создания необходимых отчетов по лабораторным работам по экспериментам с епями. Обратите внимание, что в лабораторной работе № 3 (Регистрация одиночного события) приводятся инструкции для студентов по подключению пробника осциллографа на столе для создания разряда статического электричества. Если вы не хотите, чтобы студенты проводили эксперименты по подключению пробников на столе, можно разрешить им пропустить эту лабораторную работу. Данное руководство по лабораторным работам с осциллографом имеет структуру для обеспечения максимальной гибкости его использования.

С уважением,



Джонни Хэнкок (Johnnie Hancock)

Руководитель отдела образовательных программ по использованию осциллографов
Keysight Technologies

Содержание

Лабораторное руководство и учебное пособие — краткий обзор / 3

Примечание для преподавателя электротехнического и физического факультетов / 4

1 Начало работы

Измерение с помощью осциллографа / 9

Обзор лицевой панели / 12

2 Лабораторные работы по ознакомлению с осциллографом

Лабораторная работа № 1. Выполнение основных измерений / 16

Лабораторная работа № 2. Изучение основ синхронизации осциллографа / 24

Лабораторная работа № 3. Регистрация однократных событий / 30

Лабораторная работа № 4. Компенсация пассивных пробников 10:1 / 32

Определение правильного значения компенсации емкости / 35

Нагрузка пробников / 36

Лабораторная работа № 5. Регистрация и сохранение результатов тестов осциллографа / 38

Лабораторная работа № 6. Использование математических операций для сигналов на осциллографе / 44

Лабораторная работа № 7. Использование режима масштабирования осциллографа / 51

3 Резюме

Список литературы Keysight / 56

A Блок-схема и принцип работы осциллографа

Блок-схема DSO / 58

Блок АЦП / 58

Блок аттенюатора / 59

Блок смещения постоянной составляющей / 59

Блок усилителя / 59

Блоки компаратора запуска и логического запуска / 60

Блоки временной развертки и памяти / 61

Блок DSP дисплея / 62

В Учебное пособие по определению полосы пропускания осциллографа

Определение полосы пропускания осциллографа / 64

Требуемая полоса пропускания для аналоговых сигналов / 66

Требуемая полоса пропускания для цифровых приборов / 67

Практическое правило / 67

Шаг 1. Определение самых быстрых реальных скоростей фронтов / 67

Шаг 2. Расчет $f_{изл}$ / 67

Шаг 3. Расчет полосы пропускания осциллографа / 68

Пример / 68

Сравнение измерений цифровых тактовых сигналов / 70

Указатель

1 Начало работы

Измерение с помощью осциллографа / 9

Обзор лицевой панели / 12

Осциллограф представляет собой важный инструмент для измерения напряжения и времени в современных аналоговых и цифровых электрических цепях. После окончания электротехнического ВУЗа и начала работы в электронной промышленности, вероятно, вы обнаружите, что осциллограф — это измерительный прибор, который используется чаще остальных для тестирования, проверки и отладки схем. Уже во время обучения на электротехническом или физическом вузе какого-либо университета вы будете очень часто использовать осциллограф для проведения измерений в лабораториях по изучению цепей, а также для тестирования и проверки лабораторных работ и схем. К сожалению, многие студенты так до конца и не понимают, как пользоваться осциллографом. Часто они просто случайным порядком крутят ручки и нажимают кнопки пока на дисплее осциллографа “чудесным образом” не появится изображение, примерно соответствующее желаемому. Однако после выполнения данного ряда небольших лабораторных работ вы будете лучше разбираться в устройстве осциллографа и научитесь более эффективно им пользоваться.

Итак, что такое осциллограф? Осциллограф — электронный измерительный прибор, который позволяет контролировать входящие сигналы и отображает их в виде графика в координатах напряжения и времени. Те осциллографы, которыми в процессе обучения пользовались ваши преподаватели, наверняка были аналоговыми. У таких осциллографов старых моделей полоса пропускания (рассматривается в приложении В) была ограничена, они не могли проводить измерения автоматически и им требовался повторяющийся входной сигнал (т. е. циклический).

В этом ряде лабораторных работ и, вероятно, в процессе всего обучения в университете, вы будете пользоваться цифровым осциллографом с функцией памяти, иногда называемым просто DSO. Современные осциллографы DSO могут регистрировать и отображать повторяющиеся и одиночные сигналы. У них есть набор возможностей для автоматических измерений и анализа, с помощью которых вы составите характеристику схем и выполните студенческие эксперименты быстрее и точнее, чем ваш преподаватель во время своего обучения.

1 Начало работы

Принципы работы осциллографа см. в приложении А этого руководства. Чтобы быстро научиться пользоваться осциллографом и ознакомиться с его возможностями, необходимо сначала изучить самые важные элементы управления и провести с их помощью измерения основных сигналов.

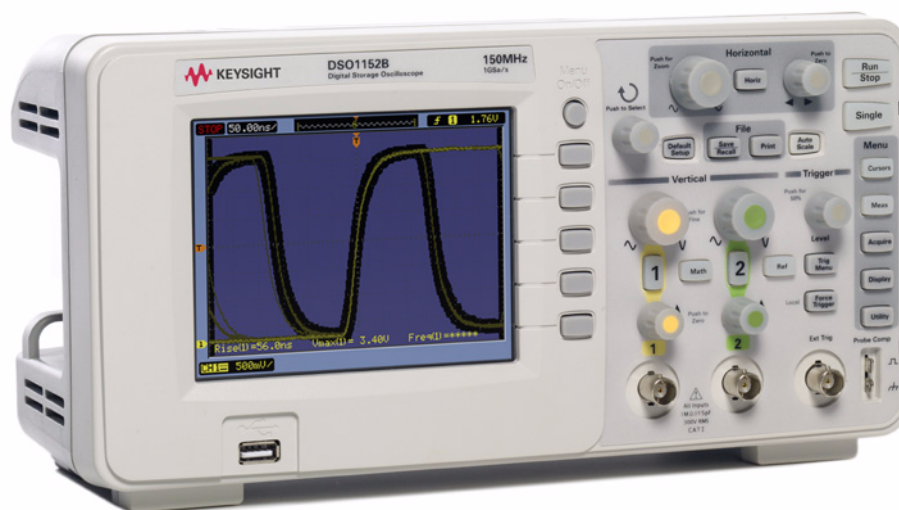


Рис. 1 Осциллограф Keysight серии 1000В

Измерение с помощью осциллографа

При проведении измерений с помощью осциллографа сначала необходимо подключить пробники осциллографа к тестируемому прибору и входам BNC осциллографа. Пробники осциллографа имеют относительно высокое входное сопротивление прерывания (высокое сопротивление при малой емкости), равную входному сопротивлению в контрольной точке. Подключение с высоким сопротивлением необходимо для изоляции измерительного прибора от тестируемой цепи, чтобы осциллограф и его пробник не оказывали влияния на тестируемые сигналы.

Для разных типов измерений используются разные виды пробников осциллографа. Сейчас выберем наиболее широко используемые, которые называются пассивными пробниками 10:1 напряжения (см. [Рис. 2](#)). “Пассивный” означает отсутствие в пробнике данного типа активных элементов, например транзисторов или усилителей. “10:1” означает, что пробник ослабляет входной сигнал на входе осциллографа в 10 раз.

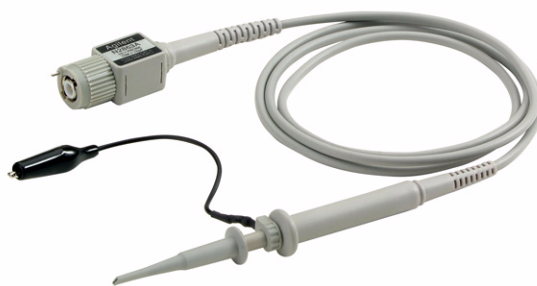


Рис. 2 Пассивный пробник 10:1 напряжения

При использовании стандартного пассивного пробника 10:1 все измерения с помощью осциллографа следует проводить между контрольной точкой сигнала и заземлением. Иными словами, *обязательно* выполняйте заземление зажима заземления пробника. *Невозможно* измерить напряжения на компоненте промежуточных цепей, используя пробник этого типа. При необходимости измерить напряжение на незаземленном компоненте используйте математическую функцию вычитания осциллографа, чтобы измерить сигналы на концах компонента относительно заземления с помощью двух каналов осциллографа, либо воспользуйтесь специальным дифференциальным активным пробником. Обратите внимание, что недопустимо замыкать цепь с помощью осциллографа.

На [Рис. 3](#) представлена электрическая схема пассивного пробника 10:1, подключенного к осциллографу при входном сопротивлении 1 М Ω по умолчанию, которое необходимо при использовании пробника такого типа. Обратите внимание, что на многих осциллографах с увеличенной полосой пропускания пользователь может выбрать входное оконечное сопротивление 50 Ω , которое

часто используется в качестве оконечного сопротивления активного пробника и/или при поступлении сигнала от источника с сопротивлением 50 Ω по коаксиальному кабелю BNC с сопротивлением 50 Ω .

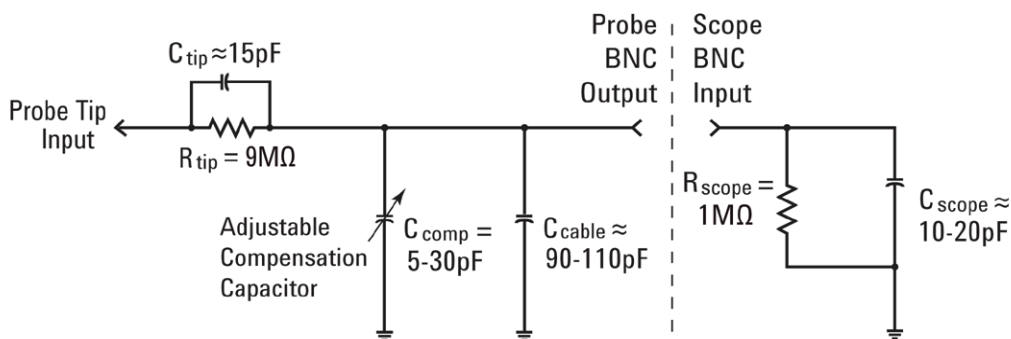


Рис. 3 Упрощенная схема с пассивным пробником 10:1, подключенным к осциллографу с входным сопротивлением 1 М Ω

Несмотря на то, что электрическая модель с пассивным пробником и осциллографом включает в себя и внутреннюю/паразитную емкость (не предусмотренную конструкцией) и заложенные в конструкцию сети компенсирующие емкости, мы не будем сейчас их учитывать, а рассмотрим идеальный сигнал в этой системе пробник/осциллограф при низких частотах или в условиях входящего постоянного тока.

Если исключить все емкостные компоненты из электрической модели пробника/осциллографа, то остается только резистор наконечника пробника на 9 М Ω , подключенный последовательно с входным импедансом осциллографа 1 М Ω . Следовательно, входное сопротивление сети на наконечнике пробника составляет 10 М Ω . Согласно закону Ома, напряжение на входе осциллографа составляет 1/10 от напряжения на наконечнике пробника ($V_{\text{осциллографа}} = V_{\text{пробника}} \times (1 \text{ М}\Omega / 10 \text{ М}\Omega)$).

Это означает, что пассивный пробник 10:1 обеспечивает расширенный динамический диапазон системы измерений осциллографа. Т. е. можно измерить сигналы с амплитудой в 10 раз больше по сравнению с сигналами, которые можно измерить с помощью пробника 1:1. Кроме того, входное сопротивление системы измерения осциллографа (пробник + осциллограф) увеличивается с 1 М Ω до 10 М Ω . И это хорошо, поскольку малое входное сопротивление могло бы создать нагрузку на тестируемое устройство (DUT) и изменить уровни реального напряжения в нем (а это нежелательно). И несмотря на то, что собственное входное сопротивление 10 М Ω является достаточно большим, помните, что его необходимо сравнивать с сопротивлением измеряемого устройства. Например, простая цепь операционного усилителя с резистором цепи обратной связи 100 М Ω может привести к неправильным показаниям на осциллографе.

Несмотря на то, что осциллографы с самыми высокими характеристиками могут обнаруживать подключение пробника 10:1, а затем автоматически устанавливать коэффициент затухания пробника

осциллографа 10:1, при использовании осциллографа Keysight серии 1000 следует вручную ввести коэффициент затухания пробника (10:1) или нажать клавишу лицевой панели [**Default Setup**] Настройка по умолчанию, чтобы установить коэффициент пробника 10:1. После того как в осциллографе задан коэффициент затухания (определен автоматически или задан вручную), на осциллографе отображаются значения всех напряжений с компенсацией относительно реального входного сигнала на наконечнике пробника. Например, если измеряемый сигнал имеет напряжение двух амплитуд 10 В, то на вход осциллографа поступает сигнал только 1 В. Однако благодаря пробнику 10:1 делителя на осциллографе отобразится сигнал 10 В.

При выполнении лабораторной работы № 4 (Компенсация пассивных пробников 10:1) мы вернемся к модели пассивных пробников уже с учетом емкостных компонентов. Эти элементы в электрической схеме пробника/осциллографа оказывают влияние на характеристики динамического диапазона/переменного тока в объединенной системе осциллографа и пробников.

Обзор лицевой панели

Знакомство с прибором начнем с обзора самых важных элементов управления/ручек осциллографа. В верхней части осциллографа расположены элементы управления “Коеф. развертки” (см. **Рис. 4**). С помощью крупной ручки регулируется число секунд на деление. Другими словами, она задает масштаб по оси для выводимого сигнала. Одно деление по горизонтали представляет в Δ раз отличается от цены деления между вертикальными линиями сетки. При необходимости просмотра быстрых кривых (сигналов с высокой частотой) масштаб по горизонтали (значение сек/дел) следует уменьшить. При необходимости просмотра медленных кривых (сигналов с низкой частотой) масштаб по горизонтали (значение сек/дел) следует увеличить. С помощью маленькой ручки в секции Horizontal (Развертка) регулируется положение кривой по горизонтали. Т. е. можно перемещать кривую по горизонтали влево или вправо. Элементы управления разверткой осциллографа (сек/дел и положение) часто называют главными элементами управления временной развертки осциллографа.



Рис. 4 Элементы управления разверткой (по оси X) осциллографа

Элементы управления/ручки в нижней части осциллографа (см. **Рис. 5**) в области “Коеф. отклонения” (над входами BNC) отвечают за масштаб осциллографа по вертикали. На двухканальном осциллографе присутствуют две пары элементов управления масштабom по вертикали. На четырехканальном осциллографе присутствуют четыре пары элементов управления масштабom по вертикали. С помощью большой ручки каждого входного канала в области “Коеф. отклонения” регулируется коэффициент масштабирования по вертикали в вольтах на деление. Иными словами — это визуальный масштаб сигналов по оси Y. Одно деление по вертикали представляет собой ΔV между горизонтальными линиями сетки. Для наблюдения за достаточно большими сигналами (с большой полной амплитудой напряжений) нужно увеличить настройку вольт/деление. Для наблюдения за маленькими сигналами нужно уменьшить настройку вольт/деление. Маленькие элементы управления/ручки каждого канала в области “Коеф. отклонения” предназначены для настройки положения/смещения. Используйте их для перемещения кривой на экране вверх и вниз.

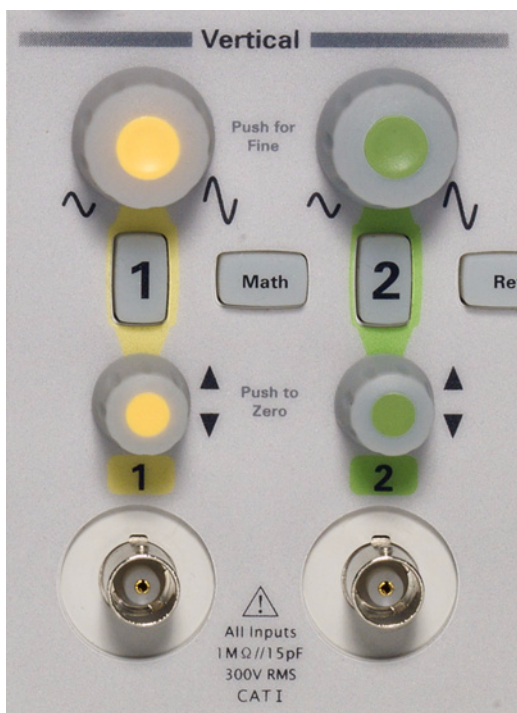


Рис. 5 Элементы управления осциллографа “Коэф. отклонения” (по оси Y)

Еще одним важным элементом управления осциллографа является ручка уровня запуска (см. **Рис. 6**). Она расположена справа на лицевой панели осциллографа под областью **Запуск**. Функцию запуска осциллографа зачастую недопонимают, однако крайне важно уметь правильно ее использовать. Функция запуска будет рассмотрена более подробно в соответствующих практических лабораторных работах.



Рис. 6 Элемент управления запуском осциллографа

Любое слово в лабораторном руководстве, выделенное жирным шрифтом в квадратных скобках, например **[Cursors] Курсоры**, обозначает клавишу (или кнопку) лицевой панели, которая расположена на правой стороне осциллографа. После нажатия любой кнопки откроется меню

с уникальным набором программных кнопок для выбранной на лицевой панели функции. “Программные кнопки — это 5 клавиш/кнопок справа от дисплея осциллографа. Функции этих кнопок изменяются в зависимости от открытого меню.

Теперь найдите ручку **ввода**, изображенную на **Рис. 7**. Эта ручка располагается справа от дисплея осциллографа. Этой ручкой придется пользоваться довольно часто для изменения набора параметров, для которых нет отдельных элементов управления на лицевой панели. Изогнутая стрелка (↻) на выбранной программной кнопке означает, что изменением этой переменной управляет ручка **ввода**. Теперь приступим к проведению измерений с помощью осциллографа.



Рис. 7 Универсальная ручка ввода осциллографа

2 Лабораторные работы по ознакомлению с осциллографом

- Лабораторная работа № 1. Выполнение основных измерений / 16
- Лабораторная работа № 2. Изучение основ синхронизации осциллографа / 24
- Лабораторная работа № 3. Регистрация однократных событий / 30
- Лабораторная работа № 4. Компенсация пассивных пробников 10:1 / 32
- Лабораторная работа № 5. Регистрация и сохранение результатов тестов осциллографа / 38
- Лабораторная работа № 6. Использование математических операций для сигналов на осциллографе / 44
- Лабораторная работа № 7. Использование режима масштабирования осциллографа / 51

Лабораторная работа № 1. Выполнение основных измерений

Первая лабораторная работа предназначена для ознакомления с элементами управления масштаб развертки и масштаб по вертикали, которые используются для настройки осциллографа на вывод повторяющихся сигналов прямоугольной формы. Кроме того, в ней описано проведение простых измерений напряжения и времени для этой волны.

- 1 Подключите кабель питания и включите осциллограф.
- 2 Подсоедините пробник осциллографа к входу BNC канала 1 и контакту с подписью **Probe Comp** (Компенсация пробника), который имеет форму сигнала, показанную на Рис. 8. Подключите зажим заземления пробника к контакту с символом заземления. Обратите внимание, что на осциллографах серии DSO1000A контакты **Probe Comp** (Компенсация пробника) располагаются под дисплеем.

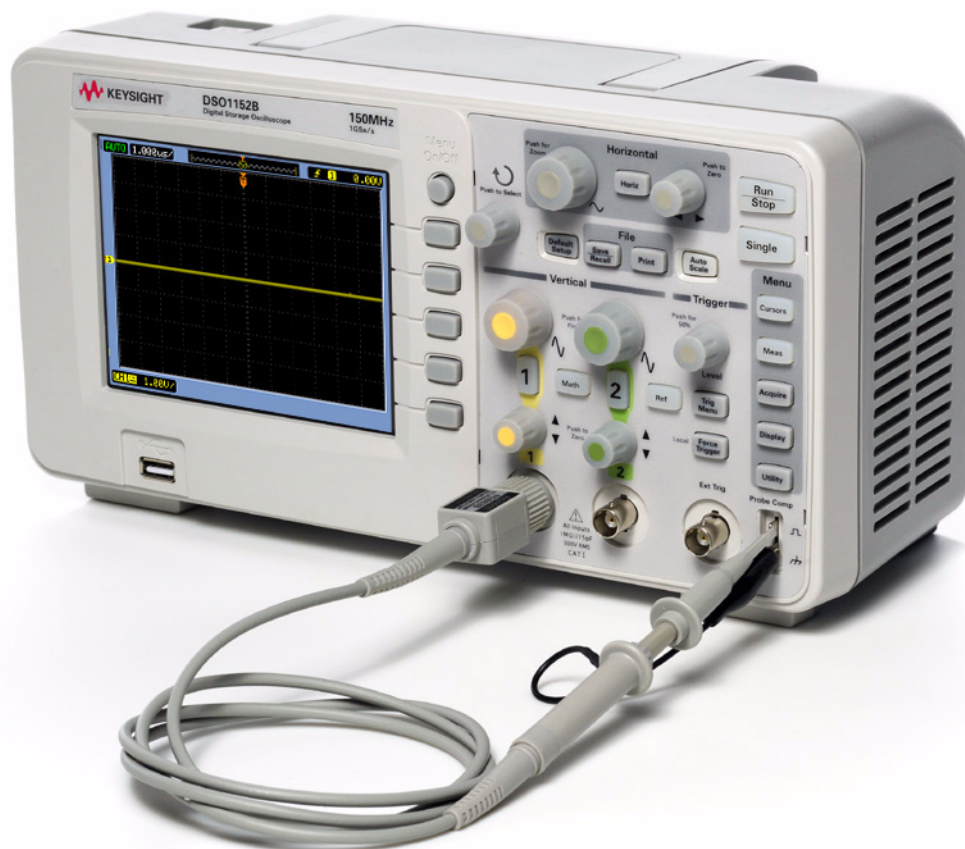


Рис. 8 Подключение пробника к входу канала 1 и контакту компенсации пробника

На контакте “probe comp” всегда присутствует сигнал прямоугольной формы с частотой 1 кГц. Несмотря на то, что этот сигнал предназначен, прежде всего, для калибровки/компенсации пробников осциллографа, которая будет выполняться в следующей лабораторной работе, мы будем использовать этот сигнал для обучения работе с осциллографом.

3 На лицевой панели нажмите клавишу [**Default Setup**] **Настройка по умолчанию.**

При выборе **настройки по умолчанию** на осциллографе будет восстановлена заводская конфигурация. Восстановятся не только коэффициенты масштабирования по осям X и Y, но и будут отключены все особые режимы работы, которые, возможно, использовались ранее. При выполнении настройки по умолчанию также будет выполнен сброс коэффициентов затухания пробников осциллографа до 10X, поэтому все амплитудные измерения будут производиться относительно уровня сигнала, присутствующего на кончике пробника. Рекомендуется каждое новое измерение с помощью осциллографа начинать с использованием настройки по умолчанию. Теперь выполним настройку параметров отклонения, развертки и запуска осциллографа, чтобы выполнить правильное масштабирование и отобразить сигнал прямоугольной формы 1 кГц на дисплее осциллографа.

4 На лицевой панели нажмите клавишу [**Menu On/Off**] **Меню вкл./выкл.**

(располагается в правом верхнем углу от дисплея), чтобы развернуть область просмотра сигнала осциллографа.

5 Поворачивайте ручку **уровня запуска** по часовой стрелке, пока для параметра уровня запуска не отобразится значение приблизительно **1,5 В** (показания в правом верхнем углу дисплея), а временная оранжевая горизонтальная линия уровня запуска не пересечется с серединой сигнала. Обратите внимание, что более подробно запуск осциллографа описывается в следующей лабораторной работе.

6 Поворачивайте большую ручку “Horizontal” [Коэф.развертки] (располагается в верхней части лицевой панели осциллографа) против часовой стрелки, пока на дисплее не отобразится не менее двух периодов сигнала прямоугольной формы. Должно подойти значение параметра **200 us/** (показания в верхнем левом углу дисплея). Это сокращенное обозначение для настройки 200 мс/деление. Далее эти значения будем называть настройкой временной развертки осциллографа.

7 Поворачивайте ручку регулировки положения по горизонтали (ручка меньшего размера в верхней части лицевой панели) для перемещения сигнала влево и вправо. Нажмите эту ручку, чтобы сбросить значение до нуля (0,0 секун по центру экрана).

8 Поворачивайте ручку настройки положения по вертикали для канала 1 (желтая ручка меньшего размера в вертикальной секции на лицевой панели, непосредственно над входом BNC), пока верхняя точка сигнала не будет установлена примерно по центру дисплея. Должно подойти значение параметра примерно **-3,0 В** (временные показания в нижнем левом углу дисплея).

9 Поворачивайте ручку В/дел канала 1 (большая желтая ручка в вертикальной секции) по часовой стрелке, пока в нижнем левом углу дисплея не отобразятся показания **“500mV/”**. Это означает 500 мВ/дел. Если нажать ручку В/дел канала 1 и выполнить настройку, появится возможность выполнения точной настройки. Преподаватель может называть это настройкой «верньер»

осциллографа. Снова нажмите ручку, чтобы вернуться к «грубой» настройке, а затем снова установите значение **500 мВ/**.

Регулировка положения по вертикали и настройка В/дел на осциллографе (шаги № 8 и № 9 выше) обычно выполняются итерациями; выполните регулировку одного, затем другого параметра, повторяйте действия, пока отображены сигнала не будет правильным.

Изображение на дисплее осциллографа теперь должно соответствовать **Рис. 9**. Теперь выполним несколько измерений для сигнала прямоугольной формы. Обратите внимание, что изображение на осциллографе по сути представляет собой график зависимости Y от X. По оси X (по горизонтальной) откладывается время, по оси Y (по вертикальной) — напряжение. На многих курсах по электротехнике и физике вам, вероятно, уже приходилось рассчитывать и строить графики электрических сигналов, но только в статическом формате — на бумаге. Или, может быть, вы использовали различные компьютерные программы для автоматического построения кривых сигналов. Если на осциллограф поступает повторяющийся входной сигнал, то можно наблюдать его динамически (непрерывно обновляющимся) в виде кривых на дисплее.

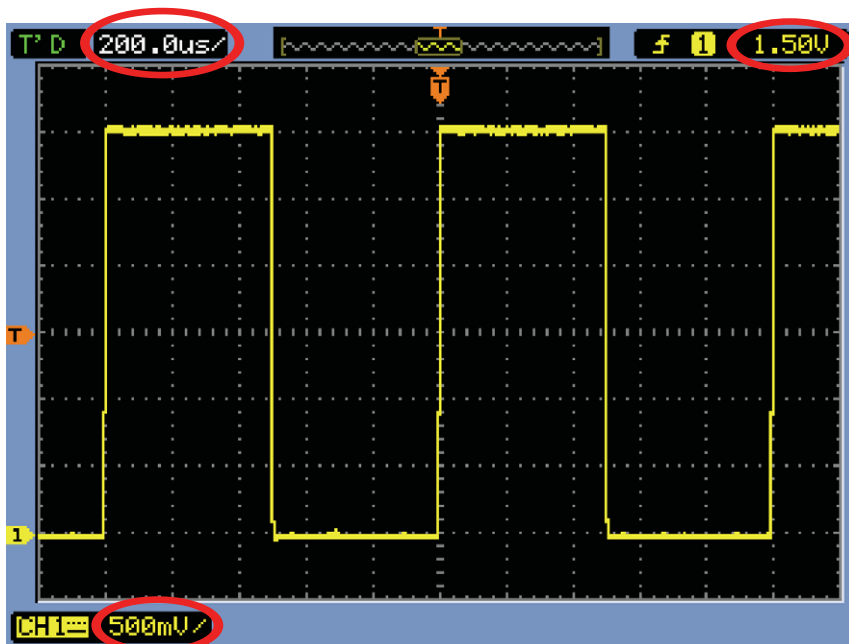


Рис. 9 Настройка параметров отклонения, развертки и запуска осциллографа для отображения сигнала

Ось X (горизонтальная) поделена на 12 основных делений (если отображение меню отключено), цена которых соответствует настройке с/дел. В данном случае каждое основное деление по горизонтали соответствует 200 микросекундам, т. к. установлена временная развертка осциллографа 200 мс/дел, как было указано ранее. Поскольку на экране по горизонтали 12 делений, то осциллограф показывает отрезок времени 2,4 мс (200 мс/дел x 12 делений) слева направо. Обратите внимание, что каждое основное деление делится на 5 малых делений

(каждое составляет 0,2 основного деления), которые помечаются штриховыми метками. Каждое малое деление в наше случае соответствует $1/5 \text{ дел} \times 200 \text{ мс/дел} = 40 \text{ мс}$.

Ось Y (вертикальная) разделена на 8 основных делений, значения которых зависят от настройки В/дел. В данном случае — 500 мВ/дел. При такой настройке осциллограф может измерить сигналы с величиной двойной амплитуды 4 В (500 мВ/дел \times 8 делений). Каждое основное деление также разделено на 5 малых (по 0,2 основного деления). Каждое малое деление помечается штриховой меткой и соответствует 100 мВ.

- 10** Определите длительность одного положительного импульса, подсчитав количество делений (основных и малых) от переднего фронта до следующего заднего фронта, затем умножьте получившееся значение на значение настройки с/дел (должно быть 200 мс/дел).

Длительность импульса = _____

- 11** Определите период (Т) одного из этих сигналов прямоугольной формы, подсчитав количество делений от переднего фронта до следующего заднего фронта, затем умножьте получившееся значение на значение настройки с/дел.

Т = _____

- 12** Частота этой синусоидальной волны ($F = 1/T$).

F = _____

- 13** Определите двойную амплитуду напряжения этого сигнала, подсчитав количество делений от нижней до верхней точки сигнала, затем умножьте получившееся значение на значение настройки В/дел (должно быть 500 мВ/дел).

V дв.амп = _____

Обратите внимание, что желтая метка “1” слева на дисплее обозначает уровень заземления (0,0 В) сигнала канала 1. Если также включен канал 2, отобразится зеленая метка “2”, обозначающая уровень заземления этого канала (0,0 В). Теперь используем функцию курсоров осциллографа, чтобы выполнить те же изменения напряжения и времени.

- 14** На лицевой панели нажмите клавишу [**Cursors**] **Курсоры**, затем нажмите программную кнопку **Режим**. Поворачивайте ручку **ввода**, пока не будет выделен элемент **Ручной**, затем нажмите ручку **ввода**, чтобы сделать выбор.
- 15** Нажимайте программную кнопку **CurA---**, пока эта кнопка не будет выделена синим (обратите внимание на то, что она уже может быть выделена синим).
- 16** Поверните ручку **ввода**, чтобы расположить курсор времени А на первом переднем фронте сигнала рядом с левой стороной дисплея.
- 17** Нажмите программную клавишу **CurA---**, чтобы отключить этот курсор, затем нажмите программную клавишу **CurB---**, чтобы включить курсор времени В.

- 18 Поверните ручку **ввода**, чтобы расположить курсор времени В на втором переднем фронте сигнала в центре дисплея. Изображение на дисплее осциллографа теперь должно соответствовать **Рис. 10**.

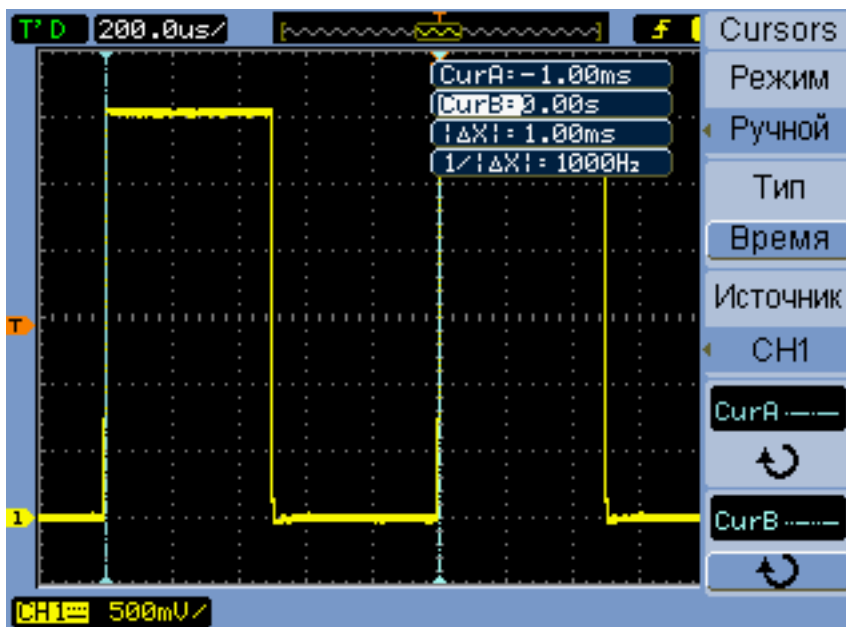


Рис. 10 Использование курсоров времени для измерения периода и частоты сигнала прямоугольной формы

- 19 Каков период и частота этого сигнала?

$$\Delta X = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$1/\Delta X = \underline{\hspace{2cm}}$$

- 20 Нажмите программную кнопку **Тип**, чтобы изменить курсоры **Время** на курсоры **Амплитуда**.
- 21 Нажмите программную кнопку **CurB---**, чтобы отключить этот курсор, затем нажмите программную кнопку **CurA---**, чтобы включить курсор амплитуды А.
- 22 Поверните ручку **ввода**, чтобы расположить курсор амплитуды А на нижней точке сигнала.
- 23 Нажмите программную кнопку **CurA---**, чтобы отключить этот курсор, затем нажмите программную кнопку **CurB---**, чтобы включить курсор амплитуды В.
- 24 Поверните ручку **ввода**, чтобы расположить курсор амплитуды В на верхней точке сигнала. Изображение на дисплее осциллографа теперь должно соответствовать **Рис. 11**.

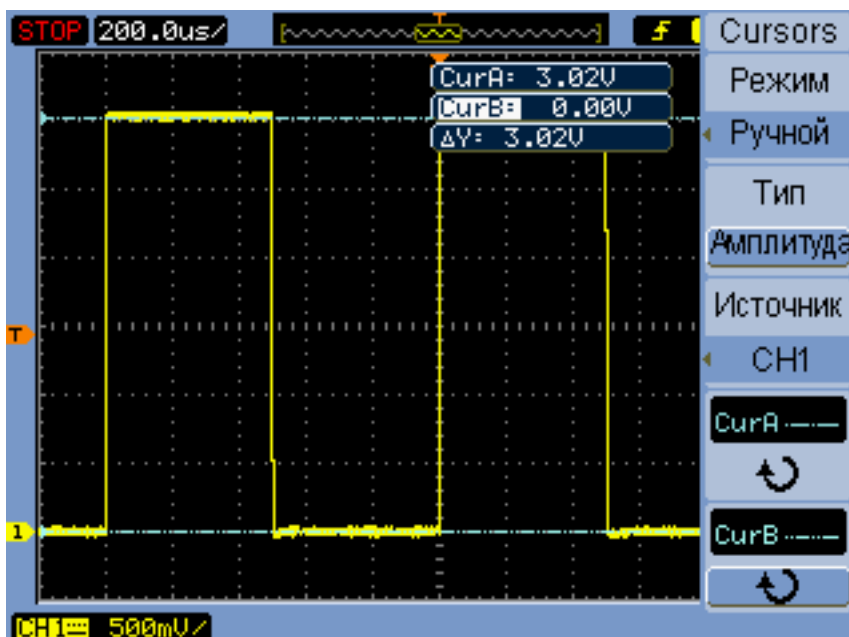


Рис. 11 Использование курсоров амплитуды для измерения двойной амплитуды напряжения сигнала прямоугольной формы

- 25** Какова амплитуда верхних точек, амплитуда нижних точек и двойная амплитуда этого сигнала?

Низ (CurA) = _____

Верх (CurB) = _____

Двойная амплитуда (ΔV) = _____

С помощью курсоров можно проводить измерение немного точнее и не строя предположений. Теперь используем более простой и точный метод выполнения этих измерений.

- 26** На лицевой панели нажмите клавишу **[Meas] Измерение**. Обратите внимание, что на осциллографах серии DSO1000A эта клавиша на лицевой панели называется **[Measure] Измерение**.
- 27** Если верхняя программная кнопка имеет метку **2/2** (меню 2 из 2), нажмите эту программную кнопку, чтобы переключиться на значение **1/2** (меню 1 из 2).
- 28** Нажмите программную кнопку **Напряж.**, затем поверните ручку **ввода**, чтобы выделить параметр **[Vpp] В двойной амплитуды**, а затем нажмите ручку **ввода**, чтобы сделать выбор.
- 29** Нажмите программную кнопку **Время**, поверните ручку **ввода**, чтобы выделить параметр **[Freq] Частота**, а затем нажмите ручку **ввода**, чтобы сделать выбор.

Изображение на дисплее осциллографа теперь должно соответствовать **Рис. 12** и отображать автоматические измерения двойной амплитуды и частоты в нижней части дисплея.

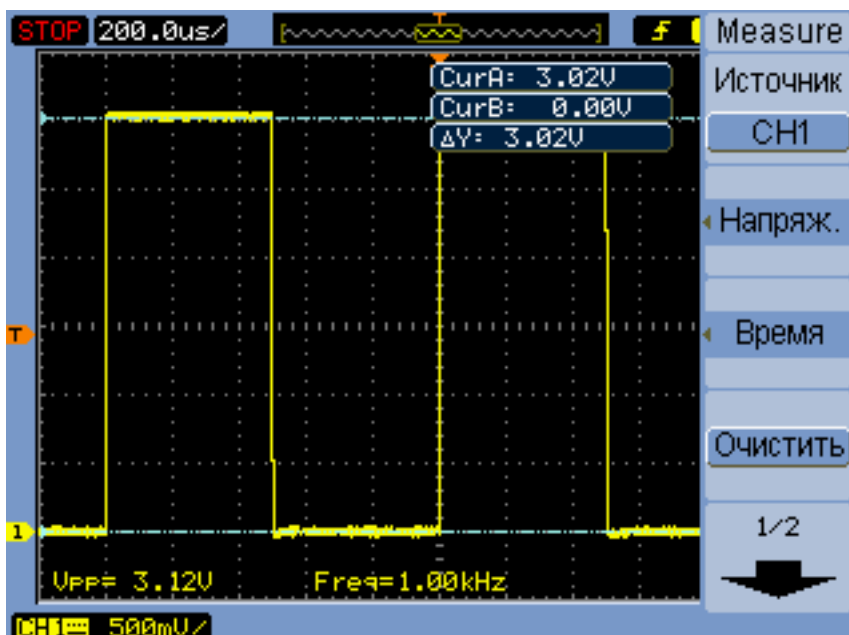


Рис. 12 Использование автоматических параметрических измерений осциллографа

Самый распространенный метод для измерения времени и напряжения — это метод подсчета делений на осциллографе, который мы использовали первым. Несмотря на то, что в общем случае необходимо считать деления и умножать их на настройки цены деления осциллографа, специалисты, хорошо знакомые с приборами, могут быстро оценить напряжение и время сигналов, а иногда достаточно грубой оценки, чтобы сказать правильный сигнал или нет.

Перед началом выполнения первой лабораторной работы выполним одно более интересное измерение.

- 30 Нажмите программную кнопку **1/2**, с помощью которой можно перейти на вторую страницу меню измерений.
- 31 Нажимайте программную кнопку **ОтобрВсе**, чтобы переключить режим **Выкл** на **Вкл**.

Изображение на дисплее осциллографа теперь должно соответствовать Рис. 13 и отображать полный список параметрических измерений для сигнала прямоугольной формы 1 кГц.

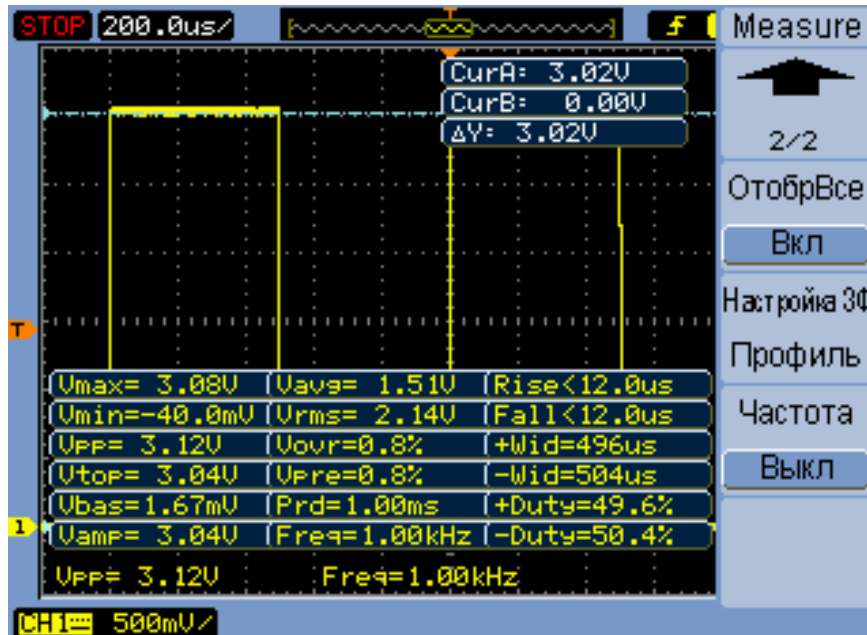


Рис. 13 Выполнение всех измерений напряжения и времени для сигнала прямоугольной формы

Одним из первых шагов лабораторной работы по ознакомлению с осциллографом является установка уровня запуска или синхронизации осциллографа. Но мы еще не обсудили, что означает понятие синхронизации осциллографа. Узнаем больше о синхронизации осциллографа в следующей практической лабораторной работе.

Лабораторная работа № 2. Изучение основ синхронизации осциллографа

Как было сказано ранее, синхронизация (или запуск) осциллографа — это, возможно, наиболее важная его особенность, которую необходимо знать для эффективного проведения измерений. Это особенно важно при измерениях множества современных сложных цифровых сигналов.

К сожалению, синхронизация часто остается непонятной.

Синхронизацию осциллографа можно сравнить с синхронизированной фотосъемкой. В регистрируемом и выводимо осциллографом повторяющемся входном сигнале могут быть тысячи изображений в секунду. Чтобы наблюдать за такими сигналами (или фотографиями), фотосъемку необходимо с чем-то синхронизировать. Это «что-то» является уникальным моментом времени на входном сигнале.

Синхронизацию осциллографа можно сравнить с фотофинишем на скачках. Несмотря на то, что это не повторяющиеся событие, затвор фотоаппарата должен быть синхронизирован с моментом, когда нос лидирующей лошади перескачет линию финиша. Случайная фотосъемка скачек между стартом и финишем аналогична просмотру несинхронизированных кривых на осциллографе.

Чтобы лучше понять синхронизацию осциллографа, выполним несколько измерений сигнала прямоугольной формы, уже знакомого по лабораторной работе № 1.

- 1 Убедитесь, что пробник осциллографа все еще подключен к контакту с подписью **“Probe Comp”** (Компенсация пробника) и входу BNC канала 1.
- 2 На лицевой панели осциллографа нажмите клавишу **[Default Setup] Настройка по умолчанию**.
- 3 Нажмите клавишу **[Menu On/Off] Меню вкл./выкл.**, чтобы отключить меню и развернуть область просмотра сигнала.
- 4 Поверните ручку уровня запуска по часовой стрелке, чтобы задать уровень запуска вблизи середины сигнала (приблизительно **1,5 В**).
- 5 Отрегулируйте ручку регулировки положения по вертикали канала 1, чтобы кривая располагалась в центре области отображения осциллографа.

Изображение на дисплее осциллографа теперь должно соответствовать **Рис. 14**. Здесь мы видим только узкую часть этого сигнала прямоугольной формы вблизи его переднего фронта, поскольку для временной развертки установлено значение 1,0 мс/дел. Напомним, что период этого сигнала равен приблизительно 1,0 мс. В верхней части дисплея отображается символ “T”. Он отмечает точку времени, в которой осциллограф синхронизируется с этим сигналом. Данные сигнала, зарегистрированные до точки запуска (в левой части дисплея), считаются данными отрицательного времени, а данные формы сигнала, зарегистрированные после точки (в правой части дисплея), — данными положительного времени. Обратите внимание, что теперь символ “T” отображается на дисплее слева. Он отмечает

уровень напряжения, при котором осциллограф синхронизируется с этим сигналом. Точка пересечения двух кривых, помеченных символом "Т", на переднем фронте сигнала, является приблизительной точкой запуска, или точкой синхронизации.

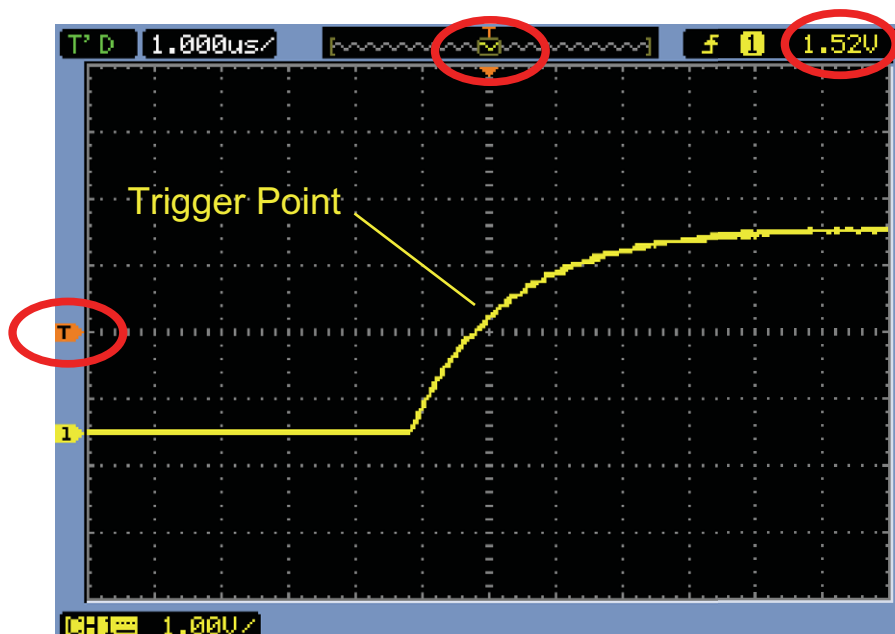


Рис. 14 Синхронизация по переднему фронту

- 6 Поворачивайте ручку уровня запуска по часовой стрелке, чтобы повысить значение параметра уровня запуска и приблизить его к верхней точке сигнала. Как вы заметите, сигнал перемещается влево.
- 7 Поворачивайте ручку уровня запуска против часовой стрелки, чтобы понизить значение параметра запуска и приблизить его к нижней точке сигнала. Как вы заметите, сигнал перемещается вправо.
- 8 Установите для уровня запуска значение, приблизительно равное **1,5 В**, находящееся вблизи середины сигнала.

По умолчанию осциллограф автоматически выбирает синхронизацию по передним фронтам. Теперь установим синхронизацию осциллографа по задним фронтам этого сигнала прямоугольной формы с частотой 1 кГц.

- 9 На лицевой панели нажмите клавишу **[Trig Menu] Меню запуска**. Обратите внимание, что эта клавиша на лицевой панели в секции запуска имеет метку **[Menu] Меню** на осциллографах серии DSO1000A.
- 10 Нажмите программную кнопку **Наклон**, затем поверните ручку **ввода**, чтобы выделить символ заднего фронта.

Вид на дисплее осциллографа теперь должен быть синхронизирован и отображать задний фронт этого сигнала, как показано на **Рис. 15**. Теперь рассмотрим режимы, которые можно использовать при выборе параметра "Режим".

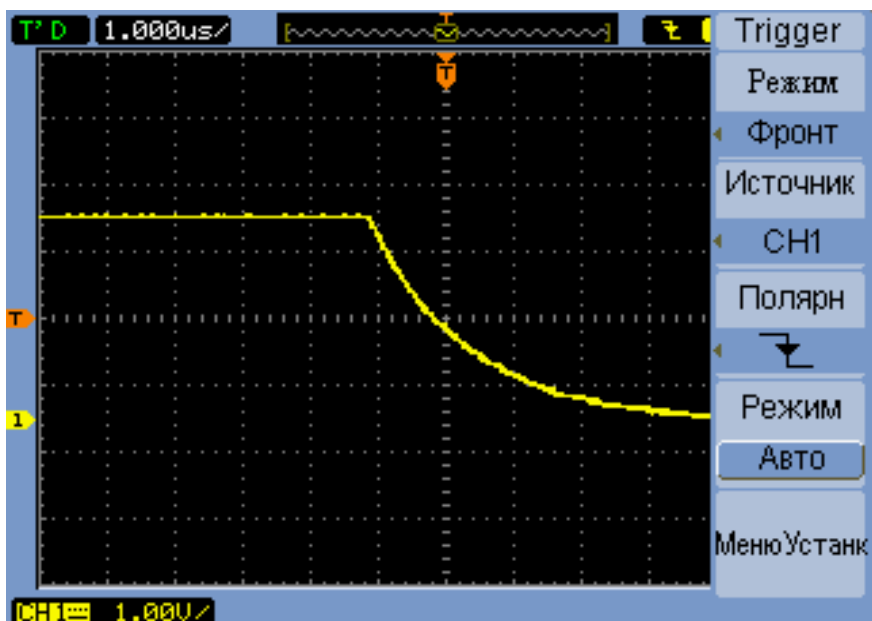


Рис. 15 Синхронизация по заднему фронту

- 11 Поверните большую ручку “Horizontal” [Горизонталь] против часовой стрелки, чтобы установить для временной разертки значение **200 $\mu\text{s}/\text{дел}$** . Теперь можно видеть, что несколько периодов этого сигнала прямоугольной формы с задним фронтом все еще синхронизированы с точкой в центре экрана.
- 12 Поворачивайте ручку уровня запуска по часовой стрелке, пока индикатор уровня запуска не будет находиться выше сигнала.

Поскольку уровень запуска выше сигнала, осциллографу нечем синхронизировать изображение. Данная ситуация показана на Рис. 16. Осциллограф синхронизируется в режиме “Авто”, а в верхнем левом углу дисплея мигает зеленым цветом сообщение “АВТО” [Авто]. Это означает, что осциллограф генерирует автоматическую настройку запусков, но эта настройка не синхронизирована с входным сигналом. Обратите внимание, что ситуация будет аналогичной, если уровень запска будет установлен ниже сигнала.

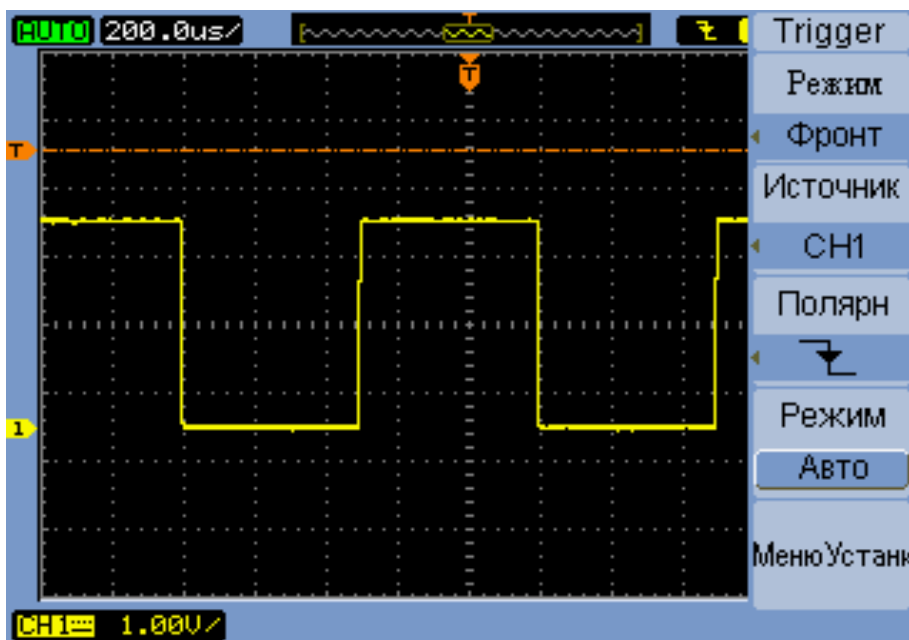


Рис. 16 Автоматический запуск с уровнем выше входного сигнала

Режим “Авто” является режимом развертки (или режимом запуска) осциллографа по умолчанию. Когда для осциллографа используется автоматический режим развертки, если осциллограф не находит подходящее условие запуска (в данном случае задний фронт пересекает сигнал прямоугольной формы 1 кГц), то он генерирует собственные асинхронные настройки запусков и выдает изображения (осуществляет сбор данных) входного сигнала с разными временными интервалами. Так как регистрация выполняется случайным образом (не синхронизирована с входным сигналом), то кривые на экране размыты или отображаются

в произвольном порядке. Этот произвольный порядок отображения как раз свидетельствует о том, что осциллограф не выполняет запуск по входному сигналу.

Также обратите внимание, что слово “развертка” является заимствованным термином со времен аналоговых осциллографов, когда осциллографы (которыми, возможно, пользовался ваш преподаватель в свои студенческие времена) с применением старых технологий “развертывали” или отклоняли электронный пучок параллельно вектору катодно-лучевой трубки (ЭЛТ). Цифровые осциллографы с функцией памяти (DSO) больше не “развертывают”, а оцифровывают входные сигналы, используя аналого-цифровой преобразователь (АЦП), а затем отображают оцифрованные точки в виде поразрядной карты отображения на плоском дисплее. Но термин “развертка” широко используется и сегодня. Однако необходимо знать, что в некоторых современных осциллографах этот режим работы также называется «режимом запуска».

13 Чтобы автоматически установить уровень запуска приблизительно на **50 %**, нажмите ручку уровня запуска.

- 14** Отсоедините пробник канала 1 от контакта «**Probe Comp**» (Компенсация пробника).

Теперь мы должны видеть сигнал постоянного тока базового уровня 0,0 В. Поскольку этот сигнал 0,0 В постоянного тока не пересекается с каким-либо фронтом, осциллограф не имеет точки запуска.

Поэтому осциллограф снова переходит к автоматической настройке запуска для отображения сигнала с этим уровнем постоянного тока.

Кроме режима автоматической развертки, пользователь может выбрать нормальный режим развертки. Рассмотрим отличия между нормальным режимом и режимом автоматической развертки.

- 15** Снова подсоедините пробник канала 1 к контакту «**Probe Comp**» (Компенсация пробника). Теперь на экране снова отображается синхронизированный сигнал прямоугольной формы.
- 16** Нажмите программную кнопку **Режим**, чтобы изменить режим **Авто** на **нормальный** режим.
- 17** Снова отсоедините пробник канала 1 от контакта «**Probe Comp**» (Компенсация пробника).

Теперь можно видеть последнюю засечку (последнее изображение) перед отключением пробника или, возможно, скачок. Также в верхнем левом углу дисплея мигает сообщение «Wait» [Ожидание]. Это означает, что осциллограф ожидает подходящие события запуска. Обратите внимание, что на дисплее отсутствует кривая уровня постоянного тока 0,0 В, которая отображалась в режиме автоматической развертки при отключении пробника. В нормальном режиме развертки осциллограф отображает кривые, только если он обнаружил подходящие условия запуска (в данном случае пересечения на заднем фронте).

- 18** Поверните ручку запуска по часовой стрелке, чтобы установить для уровня запуска значение, примерно равное **+4,00 В** (которое будет выше сигнала прямоугольной формы, если подключен пробник).
- 19** Снова подсоедините пробник канала 1 к контакту «**Probe Comp**» (Компенсация пробника).

Сигнал прямоугольной формы теперь поступает в осциллограф, но где же циклическая кривая? Поскольку включен нормальный режим развертки, осциллографу нужны действительные пересечения фронтов. Но уровень запуска задан выше сигнала (+4,00 В), и пересечения отсутствуют. Ясно, что в нормальном режиме развертки кривую невозможно найти, равно как и измерить значение постоянного тока.

- 20** Чтобы автоматически установить уровень запуска приблизительно на **50 %**, нажмите ручку уровня запуска. На осциллографе должны снова появиться повторяющиеся кривые.

В некоторых осциллографах старых моделей нормальный режим развертки называется инициированным. Это название лучше характеризует такой режим, т. к. в нем осциллограф запускается только при выполнении подходящего условия

запуска, и он не использует автоматический запуск (асинхронный запуск для проведения асинхронной съемки). Нормальный режим развертки не соответствует прямому смыслу слова “нормальный”, т. к. не является режимом развертки осциллографа по умолчанию. Обычно используется режим развертки “Авто”, который и является режимом запуска по умолчанию.

На этом этапе может возникнуть вопрос, когда следует использовать нормальный режим развертки. Нормальный режим развертки следует использовать, когда событие запуска происходит крайне редко (например, при однократном событии). Например, если осциллограф настроен на регистрацию и отображение сигнала с частотой $\frac{1}{2}$ Гц (один раз в 2 секунды) и включен режим развертки “Авто”, то прибору придется генерировать множество асинхронных автоматических запусков, и он не сможет отобразить такой медленно изменяющийся сигнал. В такой ситуации лучше выбрать нормальный режим развертки, в котором осциллограф, прежде чем отображать сигналы, ожидает возникновения подходящего события запуска. Если в лаборатории есть генератор функций, можно попытаться установить частоту 0,5 Гц, а затем посмотреть разницу использования режима развертки “Авто” и нормального режима развертки.

Лабораторная работа № 3. Регистрация однократных событий

До сих пор выполнялась регистрация повторяющихся сигналов. Сигнал прямоугольной формы с частотой 1 кГц повторяется 1000 раз в секунду. Но иногда инженерам требуется зарегистрировать однократные события (сигналы), которые возникают только один раз. Цифровые осциллографы с функцией памяти (DSO) эффективны для регистрации однократных событий благодаря высокой частоте дискретизации. Однако настройка осциллографа для регистрации однократных событий выполняется не так просто, как для регистрации повторяющихся сигналов. При просмотр сигнала больше не требуется выполнять точную настройку условий, например параметров В/дел и с/дел. В отсутствие сигнала подобные настройки выполнить невозможно. Необходимо обладать некоторыми знаниями о приблизительных характеристиках однократного события (например, об амплитуде или длительности) для выполнения настройки осциллографа для регистрации этого события. Предположим, что известно, что двойная амплитуда этого однократного события равна приблизительно 2 В, а длительность события составляет приблизительно 10 миллисекунд. Теперь выполним настройку осциллографа для регистрации однократного события с этими характеристиками.

- 1 На лицевой панели нажмите клавишу **[Default Setup] Настройка по умолчанию**.
- 2 Отключите пробник канала 1 (захват наконечника пробника или зажим заземления) от контакта с подписью **«Probe Comp»** (Компенсация пробника).
- 3 Установите временную развертку осциллографа **1,000 мс/дел**.
- 4 Установите значение настройки В/дел канала 1 **200 мВ/дел**.
- 5 Установите для уровень запуска значение около **300 мВ**.
- 6 На лицевой панели нажмите клавишу **[Trig] Триггер**. Обратите внимание, что на осциллографах серии DSO1000A эта клавиша на лицевой панели в секции запуска называется **[Menu] Меню**.
- 7 Нажмите программную кнопку **Режим**, чтобы изменить режим **Авто** на **нормальный** режим.
- 8 На лицевой панели нажмите клавишу **[Menu On/Off] Меню вкл./выкл.**
- 9 На лицевой панели нажмите клавишу **[Single] Одиночный**.
- 10 Возьмите пробник и слегка прикоснитесь им к лавке или столу, чтобы создать и зарегистрировать небольшой разряд статического электричества.

Сохраненный сигнал, отображающийся на дисплее осциллографа, может соответствовать тому, что показан на **Рис. 17**. Однако, вероятно, он будет немного отличаться. Если осциллограф не выполнил регистрацию сигнала, попытайтесь снизить уровень запуска, снова нажмите на лицевой панели клавишу **[Single] Одиночный**, а затем прикоснитесь пробником к столу. Чтобы выполнить регистрацию нескольких однократных событий, перед следующим появлением события снова нажмите клавишу **[Single] Одиночный**.

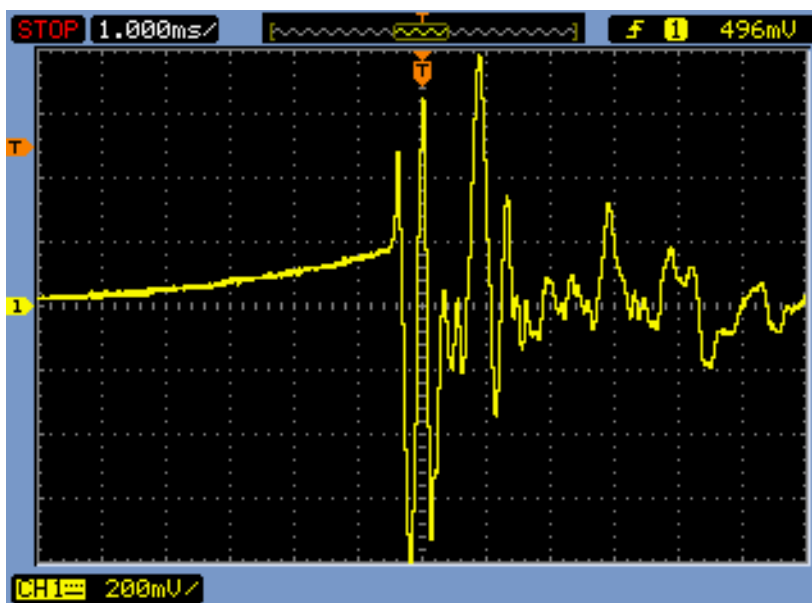


Рис. 17 Настройка осциллографа на регистрацию одиночного события.

Чтобы лучше разобраться в использовании нормального режима развертки (описанного в предыдущей лабораторной работе), попытаемся выполнить регистрацию нескольких редких событий.

- 11 На лицевой панели нажмите клавишу **[Run/Stop] Пуск/Стоп** (клавиша должна загореться зеленым).
- 12 Начните прикасаться пробником к столу с небольшими интервалами (например, один раз в секунду).

Вы должны заметить, что осциллограф регистрирует каждое однократное событие. Теперь изменим режим развертки на «Авто» и посмотрим, что произойдет.

- 13 На лицевой панели нажмите клавишу **[Trig Menu] Меню запуска**. Обратите внимание, что на осциллографах серии DSO1000A эта клавиша на лицевой панели в секции запуска называется **[Menu] Меню**.
- 14 Нажмите программную кнопку **Режим**, чтобы изменить **нормальный** режим на **Авто**.
- 15 Снова начните прикасаться пробником к столу через большие интервалы.

Вы должны заметить, что осциллограф редко регистрирует однократное событие, и, если регистрирует, то оно отображается в произвольном месте на дисплее осциллографа, т. е. не привязано к центру экрана. Это происходит потому, что осциллограф запускается в режиме «Авто». Помните, что режим развертки (запуска) «Авто» хорошо подходит для регистрации повторяющихся сигналов, но его не следует использовать для регистрации однократных событий с низкой частотой повторения.

Лабораторная работа № 4. Компенсация пассивных пробников 10:1

После выполнения первых трех лабораторных работ данного руководства по обучению работе с осциллографом вы знаете, как проводить основные измерения напряжения и времени. Теперь мы снова поговорим об использовании пробников. В разделе **Начало работы** руководства кратко рассматривались измерения и приводилась электрическая схема входов в сочетании со входами пассивного пробника 10:1 и осциллографа. На **Рис. 18** снова показана электрическая модель пробника и осциллографа.

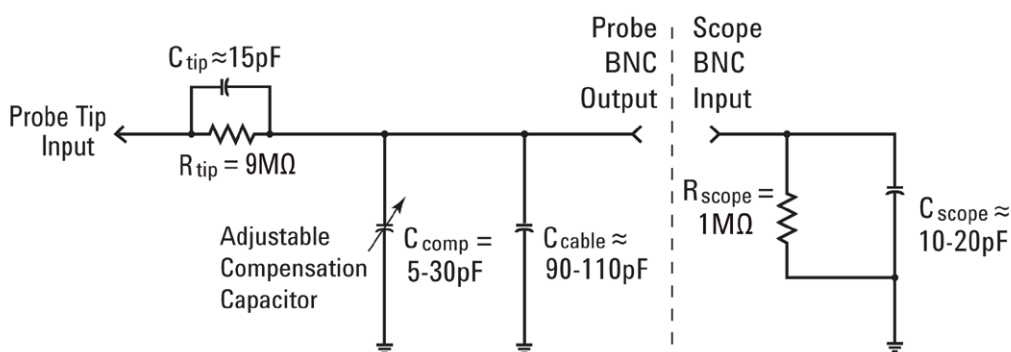


Рис. 18 Упрощенная схема с пассивным пробником 10:1, подключенным к осциллографу с входным импедансом 1 МОм

В ней не учитывались емкостные компоненты, а рассматривались только резистивные. Было определено, что сочетание резистора наконечника пробника 9 МОм с входным сопротивлением осциллографа 1 МОм создает отношение делителя напряжения “10-к-1”. При низких частотах или постоянном токе игнорирование емкостных элементов допустимо. Но для измерения динамических сигналов (а это основное назначение осциллографов) их уже необходимо учитывать в электрической модели.

Паразитные емкости являются неотъемлемой частью входов пробников и осциллографа. К ним относятся емкость кабеля пробника ($C_{\text{кабеля}}$) и емкость входа осциллографа ($C_{\text{осциллографа}}$). Термин “внутренний/паразитный” означает, что эти элементы не заложены

в конструкцию прибора, однако тем не менее в ней присутствуют и их необходимо учитывать. Значение внутренней/паразитной емкости индивидуально для каждого осциллографа и пробника. Без дополнительных встроенных емкостных компонентов, предназначенных для компенсации внутренних емкостных элементов, сопротивление системы при динамических сигналах (не постоянный ток) может привести к изменению общего динамического затухания системы измерения от желаемого отношения 10:1. Дополнительный/встроенный конденсатор наконечника пробника ($C_{\text{наконечника}}$) с конденсатором для компенсации переменной емкости ($C_{\text{комп}}$) предназначены для задания такого

емкостного сопротивления, которое соответствует резистивному затуханию 10:1. Если емкость конденсатора для компенсации выбрана правильно, то постоянная времени емкости конденсатора наконечника пробника при его параллельном подключении с сопротивлением $9\text{ M}\Omega$ равняется постоянной времени конденсатора внутренней емкости и емкости конденсатора для компенсации при их параллельном подключении с входным сопротивлением $1\text{ M}\Omega$ осциллографа.

Не вдаваясь в теоретические основы, просто давайте подключимся к источнику сигнала и понаблюдаем эффект от недостаточной, избыточной и правильной компенсации.

- 1 Подключите один пробник осциллографа к входу BNC канала 1 и контакту с подписью **Probe Comp** (Компенсация пробника). Подключите зажим заземления пробника к контакту заземления.
- 2 Подключите другой пробник осциллографа к входу BNC канала 2 и контакту с подписью **Probe Comp** (Компенсация пробника). Подключите зажим заземления пробника к контакту заземления.
- 3 На лицевой панели осциллографа нажмите клавишу [**Default Setup**] **Настройка по умолчанию**.
- 4 Чтобы включить канал 2, нажмите на лицевой панели клавишу [**2**] (между двумя зелеными ручками).
- 5 На лицевой панели нажмите клавишу [**Menu On/Off**] **Меню вкл./выкл.** чтобы развернуть область просмотра сигнала.
- 6 Установите временную развертку осциллографа **200,0 мс/дел**.
- 7 Чтобы автоматически установить уровень запуска приблизительно на 50 %, нажмите ручку уровня запуска.
- 8 Отрегулируйте расположение отклонения канала 2 (зеленая ручка меньшего размера), чтобы сигнал канала 2 (зеленая кривая) располагался ниже сигнала канала 1 (желтая кривая).

Если пробники правильно компенсированы, то на дисплее осциллографа отобразятся две прямоугольные волны с частотой 1 кГц и плоской характеристикой, как на **Рис. 19**. Теперь выполним компенсацию каждого пробника.

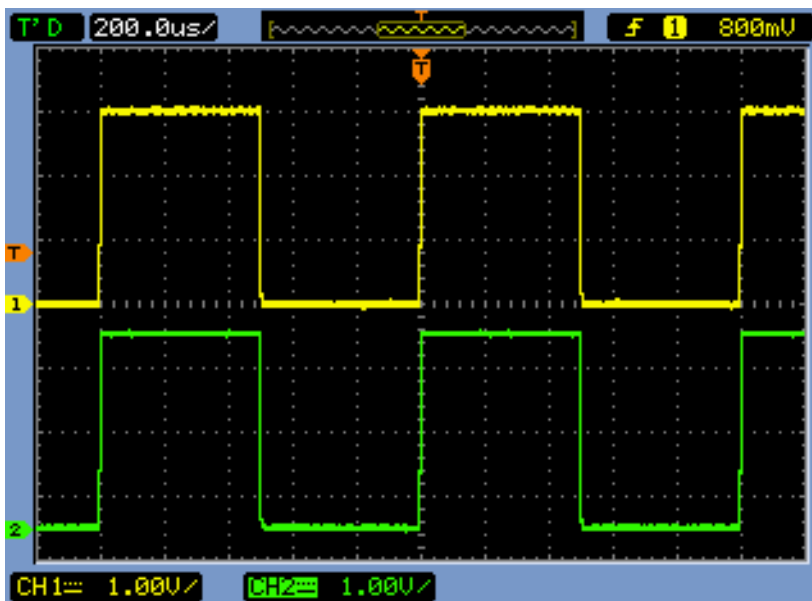


Рис. 19 Использование сигнала компенсации пробника 1 кГц для компенсации пассивных пробников 10:1

- 9 С помощью тонкой отвертки настройте конденсатор переменной емкости на корпусе каждого пробника. Обратите внимание, что эта настройка иногда производится рядом с местом подключения BNC на каждом пробнике.

На **Рис. 20** показан пример избыточной компенсации (слишком большой емкости) пробника канала 1 (желтая кривая) и недостаточной компенсации (слишком маленькая емкость) пробника канала 2 (зеленая кривая). Если кривая на экране не идеальной прямоугольной формы, то настройте компенсацию пробников, так, чтобы кривые совпадали с кривыми на **Рис. 19**.

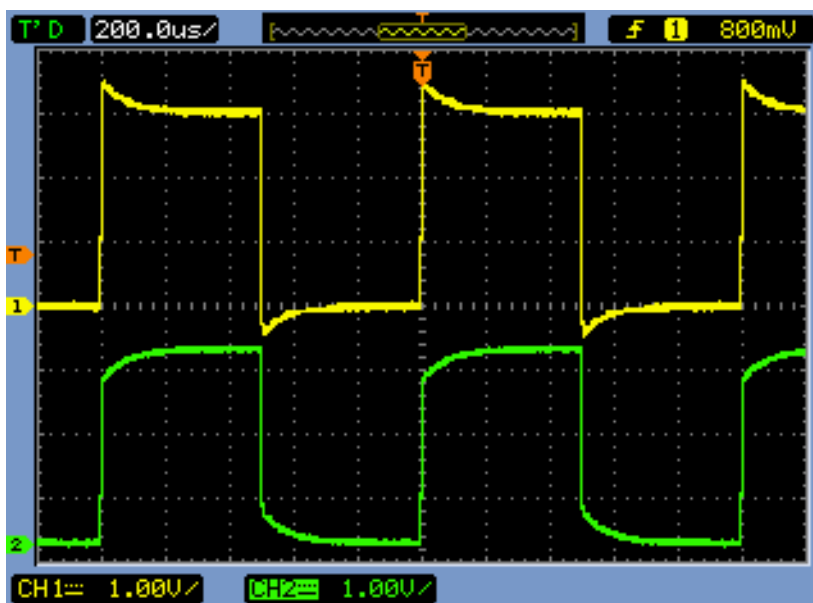


Рис. 20 Неправильная компенсация пробников

Настройка компенсации пробников проводится один раз после подключения к осциллографу и в дальнейшем выполнять ее не требуется.

На этом практическая часть этой лабораторной работы завершена. Следующая часть этой лабораторной работы посвящена подробному обсуждению компенсации и нагрузки пробников. Преподаватель может назначить изучение этой части в качестве домашней работы. В таком случае можно перейти к изучению следующей лабораторной работы, а позднее изучить этот раздел.

Определение правильного значения компенсации емкости

При желании можно вычислить значение емкости компенсации ($C_{\text{комп}}$), которая необходима для правильной компенсации. Расчет производится на основе следующих допущений:

$$R_{\text{наконечника}} = 9 \text{ M}\Omega$$

$$R_{\text{осциллографа}} = 1 \text{ M}\Omega$$

$$C_{\text{осциллографа}} = 15 \text{ пФ}$$

$$C_{\text{кабеля}} = 100 \text{ пФ}$$

$$C_{\text{наконечника}} = 15 \text{ пФ}$$

$$C_{\text{парал}} = C_{\text{осциллографа}} + C_{\text{кабеля}} + C_{\text{комп}}$$

$$C_{\text{комп}} = ?$$

2 Лабораторные работы по ознакомлению с осциллографом

Проще всего вычислить значение емкости компенсации ($C_{\text{комп}}$), если приравнять постоянную времени ($1/RC$) параллельного соединения

$R_{\text{наконечника}}$ и $C_{\text{наконечника}}$ к постоянной времени параллельного соединения $R_{\text{осциллографа}}$ и $C_{\text{парал}}$:

$$\frac{1}{R_{\text{tip}} \times C_{\text{tip}}} = \frac{1}{R_{\text{scope}} \times C_{\text{parallel}}}$$

В модели пробника/осциллографа $C_{\text{парал}}$ представляет собой сумму трех емкостных элементов.

Другой способ расчета заключается в приравнивании емкостного сопротивления $C_{\text{парал}}$, умноженного на 9, к емкостному сопротивлению $C_{\text{наконечника}}$. Таким образом, коэффициент затухания, создаваемый емкостными сопротивлениями, будет равен коэффициенту затухания, создаваемому исключительно резистивной сетью (10:1):

$$\frac{1}{2\pi f C_{\text{tip}}} = 9 \times \frac{1}{2\pi f C_{\text{parallel}}}$$

$$C_{\text{комп}} = \underline{\hspace{2cm}}$$

Нагрузка пробников

Кроме правильной компенсации пассивных пробников 10:1, для обеспечения наибольшей точности измерений, проводимых с помощью осциллографа, необходимо также учитывать и нагрузку пробников. Окажет ли подключение пробника и осциллографа к тестируемому прибору (DUT) влияние на цепь? При подключении любого прибора к цепи этот прибор становится частью тестируемого устройства и может создавать нагрузку или в некоторой степени изменять сигналы. Если использовать заданные значения сопротивлений и емкости, приведенные выше (и значение $C_{\text{комп}}$, которое мы определили), то можно представить воздействие нагрузки от пробника и осциллографа в виде параллельного соединения сопротивления и конденсатора, как показано на **Рис. 21**.

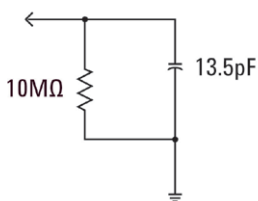


Рис. 21 Схема нагрузки пассивного пробника 10:1 и осциллографа

При низкой частоте сигнала или постоянном токе преобладает нагрузка с сопротивлением 10 MΩ, которая в большинстве случаев не создает проблем. Но что произойдет при измерении цифрового тактового сигнала 100 МГц? 5-я

гармоника цифрового тактового сигнала, которая вносит значительный вклад в форму сигнала, составляет 500 МГц. Теперь определим емкостное сопротивление, создаваемое конденсатором емкостью 13,5 пФ, в схеме нагрузки на **Рис. 21**:

$$X_c = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi \times 500 \times 10^6 \times 13.5 \times 10^{-12}} = 23.6\Omega$$

Несмотря на то, что 13,5 пФ — это немного, при высоких частотах этой емкостью нагрузки уже нельзя пренебрегать. Для сигналов с высокими частотами, как в нашем случае, на большинстве осциллографов предусмотрены средства активных измерений, у которых входная емкость значительно ниже (меньше пФ). Однако активные пробники стоят гораздо дороже обычного пассивного 10:1.

Не забывайте, что модели пробник + осциллограф в этой лабораторной работе сильно упрощены. В более точные модели желательно включить еще и индуктивные элементы. Электропроводка, в особенности кабель заземления, является индуктивным элементом, особенно при высоких частотах.

Чтобы провести собственный эксперимент с нагрузкой пробника, загрузите приложение *Эксперименты с нагрузкой пробников осциллографа*, приведенное в разделе **“Список литературы Keysight”** данного документа.

Лабораторная работа № 5. Регистрация и сохранение результатов тестов осциллографа

После завершения лабораторных работ по изучению различных цепей преподаватель может попросить составить протокол испытания. В отчет по лабораторной работе может потребоваться вставить изображения (рисунки) с измерениями. Кроме того, одного сеанса может оказаться недостаточно для выполнения всей лабораторной работы. Желательно продолжить работу с того места где она была прервана, без перенастройки осциллографа или сигнлов. В данной лабораторной работе вы узнаете, как сохранить и открыть файлы осциллографа разных типов, например изображения, опорные сигналы и настройки. В этой лабораторной работе вам потребуется персональное запоминающее устройство USB.

- 1 Убедитесь, что пробник осциллографа все еще подключен к контакту с подписью «**Probe Comp**» (Компенсация пробника) и входу BNC канала 1.
- 2 На лицевой панели осциллографа нажмите клавишу [**Default Setup**] **Настройка по умолчанию**.
- 3 На лицевой панели нажмите клавишу [**Menu On/Off**] **Меню вкл./выкл.** чтобы развернуть область просмотра сигнала.
- 4 Установите временную развертку осциллографа **200 мс/дел**.
- 5 Чтобы приблизительно установить уровень запуска на **50%**, нажмите ручку уровня запуска.

На данном этапе отображаются несколько циклов сигнала прямоугольной формы 1 кГц, как показано на **Рис. 22**. Теперь сохраним это изображение.

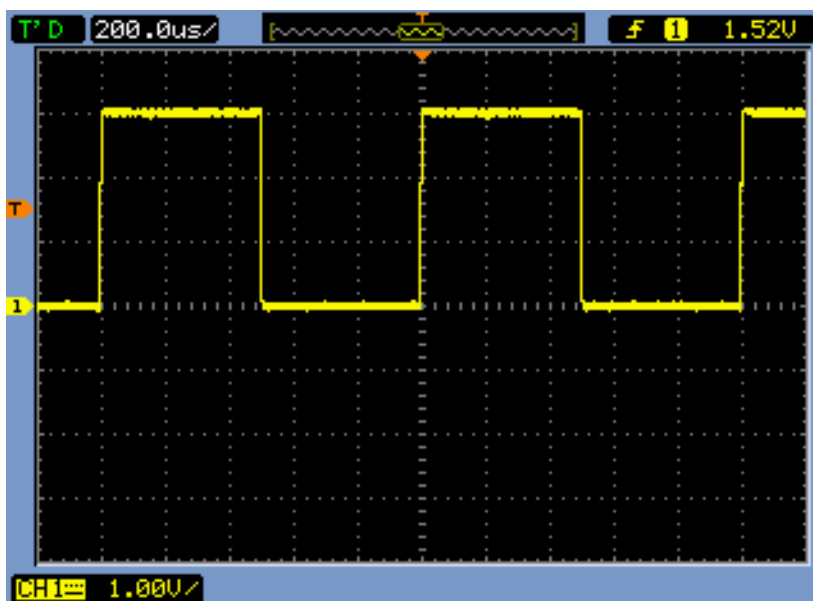


Рис. 22 Два цикла сигнала прямоугольной формы 1 кГц, которые нужно сохранить для последующего анализа

- 6 Вставьте персональное запоминающее устройство USB в порт USB на лицевой панели осциллографа.
- 7 Нажмите клавишу **[Save/Recall] Сохранение/восстановление**, расположенную в секции клавиш для работы с файлами на лицевой панели.
- 8 Нажмите программируемую кнопку **Память**, поверните ручку **ввода**, чтобы выделить параметр **PNG**, затем нажмите ручку **ввода**, чтобы выбрать этот параметр для типа операции сохранения или типа файла, который требуется сохранить или восстановить.
- 9 Нажмите программную кнопку **Внешний**, что означает, что требуется сохранить или восстановить данные на внешнем накопителе USB. Обратите внимание, что несмотря на то, что можно сохранять определенные типы данных во внутренней памяти осциллографа, эти данные могут перезаписать другие студенты.
- 10 Нажмите программную кнопку **Создать файл**, чтобы создать имя нового файла. Несмотря на то, что можно создать собственное имя файла, на данный момент будем использовать имя файла по умолчанию.
- 11 Нажмите программную кнопку **Сохранить**, чтобы сохранить этот файл изображения.

При этом сохраняется изображение, которое отображалось на дисплее осциллографа до входа в это меню. Несмотря на то, что на осциллографе невозможно отобразить файл этого типа, файл PNG можно открыть на компьютере. Можно также вставлять это изображение в документы разных типов, например в документы, созданные в приложении Microsoft Word. Возможно, преподаватель позднее попросит вас это сделать при создании документации для различных лабораторных экспериментов. Кроме сохранения изображений в формате PNG

можно также сохранять изображения как 8-битные или 24-битные растровые изображения в формате BMP. Обратите внимание, что все изображения экрана осциллографа, приведенные в этом *лабораторном руководстве*, изначально были сохранены в формате PNG. Теперь выполним сохранение файла настройки.

- 12 На лицевой панели нажмите клавишу **[Menu On/Off] Меню вкл./выкл.**
- 13 При использовании осциллографа серии DSO1000B на лицевой панели нажмите клавишу **[Save/Recall] Сохранение/восстановление**. При использовании осциллографа серии DSO1000A меню сохранения/восстановления уже будет отображаться.
- 14 Нажмите программную кнопку **Память**, затем поверните ручку **ввода**, чтобы выделить параметр **Настройки**, а затем нажмите ручку **ввода**, чтобы сделать выбор.
- 15 Нажмите программную кнопку **Внешний**.
- 16 Нажмите программную кнопку **Создать файл**, затем нажмите **Сохранить**.

Вместе с файлом настройки можно сохранить условия настройки осциллографа (В/дел, с/дел, уровень запуска и т. п.), чтобы позже можно было восстановить эти условия настройки для продолжения выполнения измерений после некоторого перерыва. Теперь попробуем восстановить настройки, которые были только что сохранены. Но для начала изменим текущие условия настройки осциллографа.

- 17 На лицевой панели нажмите клавишу **[Menu On/Off] Меню вкл./выкл.**
- 18 На лицевой панели нажмите клавишу **[Default Setup] Настройка по умолчанию**. При этом будут нарушены текущие условия настройки осциллографа.
- 19 На лицевой панели нажмите клавишу **[Save/Recall] Сохранение/восстановление**.
- 20 Нажмите программную кнопку **Память**, затем поверните ручку **ввода**, чтобы выделить параметр **Настройка**, а затем нажмите ручку **ввода**, чтобы сделать выбор.
- 21 Нажмите программную кнопку **Внешний**.
- 22 Поверните ручку **ввода**, чтобы выделить файл настройки, который был только что сохранен. Обратите внимание, что этот файл должен иметь расширение .stp. Если это единственный файл .stp, который хранится на носителе USB, он будет выделен автоматически.
- 23 Нажмите программную кнопку **Вызов**, чтобы восстановить эту настройку.

Если пробник все еще подключен к контакту **Probe Comp**, осциллограф будет настроен правильно и снова отобразит сигнал прямоугольной формы 1 кГц. Обратите внимание, что настройки также можно сохранить, используя тип сохранения "Сигнал". При сохранении и восстановлении с использованием типа "Сигнал" осциллограф восстановит условия настройки, а также сигналы. Но если после восстановления настроек и сигналов нажать клавишу **[Run] Пуск**, восстановленные сигналы будут заменены

текущими оцифрованными сигналами. Рекомендуется постоянно сохранять сигналы для последующего анализа, используя опорные сигналы. Выполните указанные ниже действия.

- 24 На лицевой панели нажмите клавишу **[Ref] Опорный** (рядом с клавишей включения/выключения канала 2).
- 25 Нажмите программную кнопку **Место**, чтобы переключиться с **внутренней** памяти на **внешнюю**.
- 26 Нажмите программную кнопку **Сохранить**.
- 27 Нажмите программную кнопку **Создать файл**, затем нажмите **Сохранить**.

Теперь выполним импорт (восстановление) этого опорного сигнала, который был только что сохранен, обратно в осциллограф для последующего анализа. Но для начала удалим текущий отображающийся сигнал канала 1 (желтая кривая).

- 28 На лицевой панели нажмите клавишу **[Menu On/Off] Меню вкл./выкл.**
- 29 На лицевой панели нажмите клавишу **[Display] Отображение**.
- 30 Если верхняя кнопка выбора имеет метку **2/2** (меню 2 из 2), нажмите эту программную кнопку, чтобы переключиться на значение **1/2** (меню 1 из 2).
- 31 Нажмите программную кнопку **Очистить**, чтобы удалить сигнал канала 1.
- 32 На лицевой панели нажмите клавишу **[Ref] Опорный**.
- 33 Нажимайте программную кнопку **Место**, пока не отобразится параметр **Внешний**.
- 34 Нажмите программную кнопку **Импорт**.
- 35 Поверните ручку **ввода**, чтобы выделить опорный сигнал, который был только что сохранен. Обратите внимание, что этот файл должен иметь расширение **.ref**.
- 36 Нажмите **Импорт**.

Теперь на дисплее осциллографа можно видеть отображающийся белым цветом сигнал, соответствующий **Рис. 23**. Теперь этот сигнал можно использовать для сравнения с текущими оцифрованными сигналами.

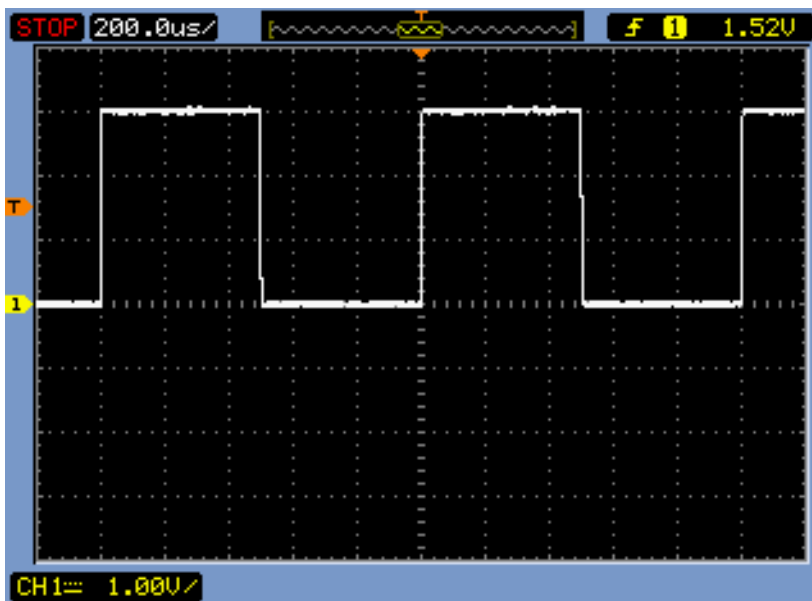


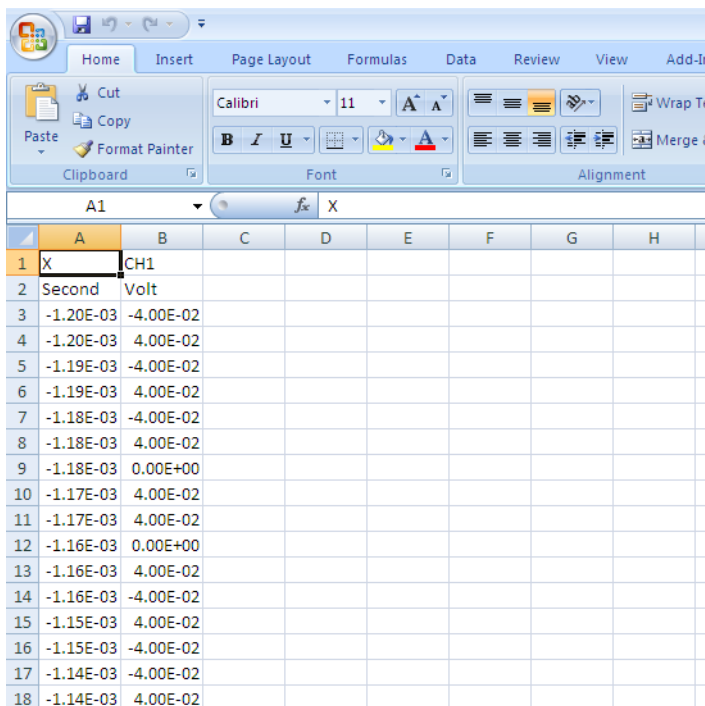
Рис. 23 Импорт сохраненного опорного сигнала (.ref) во внутреннюю память осциллографа

Кроме сохранения изображений (.png или .bmp), настроек (.stp) и опорных сигналов (.ref), также можно сохранять сигнал в формате .csv (значения, разделенные запятыми). В данном случае будем иметь дело с массивом пар XY (время и напряжение), который представляет отдельные оцифрованные точки сигнала. Несмотря на то, что невозможно восстановить этот тип файлов на осциллографе, их можно открыть с помощью приложения для работы с электронными таблицами, например с помощью приложения Microsoft Excel. Можно также импортировать данные этого типа в разные приложения, например LabView и MatLab, для выполнения расширенного анализа сигнала/данных, который, возможно, не удастся выполнить с помощью осциллографа.

- 37 На лицевой панели нажмите клавишу **[Ref] Опорный**, чтобы отключить отображение опорного сигнала. (При использовании осциллографа серии DSO1000B эту клавишу необходимо нажать дважды. При использовании осциллографа серии DSO1000A эту клавишу нужно нажать один раз).
- 38 Чтобы снова начать сбор данных, нажмите клавишу **[Run/Stop] Пуск/Стоп** (клавиша **[Run/Stop] Пуск/Стоп** загорится зеленым).
- 39 На лицевой панели нажмите клавишу **[Save/Recall] Сохранение/восстановление**.
- 40 Нажмите программную кнопку **Память**, затем поверните ручку **ввода**, чтобы выделить параметр **CSV**, а затем нажмите ручку **ввода**, чтобы сделать выбор.
- 41 Нажмите программную кнопку **Внешний**.
- 42 Нажмите программную кнопку **Создать файл**.
- 43 Нажмите программную кнопку **Сохранить**.

44 На лицевой панели нажмите клавишу [Menu On/Off] Меню вкл./выкл.

Если открыть этот файл на переносном компьютере с помощью приложения Microsoft Excel, можно увидеть список пар данных времени и напряжения, сходный с показанным на Рис. 24. Несмотря на то, что приложение Excel предлагает ограниченный анализ данных сигнала, этот файл можно также открыть в таких приложениях, как LabView или MatLab, для более расширенного и полного анализа сигнала.



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	X	CH1						
2	Second	Volt						
3	-1.20E-03	-4.00E-02						
4	-1.20E-03	4.00E-02						
5	-1.19E-03	-4.00E-02						
6	-1.19E-03	4.00E-02						
7	-1.18E-03	-4.00E-02						
8	-1.18E-03	4.00E-02						
9	-1.18E-03	0.00E+00						
10	-1.17E-03	4.00E-02						
11	-1.17E-03	4.00E-02						
12	-1.16E-03	0.00E+00						
13	-1.16E-03	4.00E-02						
14	-1.16E-03	-4.00E-02						
15	-1.15E-03	4.00E-02						
16	-1.15E-03	-4.00E-02						
17	-1.14E-03	-4.00E-02						
18	-1.14E-03	4.00E-02						

Рис. 24 Открытие сохраненного в формате .csv сигнала с помощью приложения Microsoft Excel

Лабораторная работа № 6. Использование математических операций для сигналов на осциллографе

С помощью осциллографов можно выполнять математические операции для целого сигнала или парных сигналов. Одной наиболее распространенных математических функций является вычитание одного сигнала из другого с помощью осциллографа. На **Рис. 25** показан пример простой сети делителей напряжения с двумя резисторами. Что делать, если требуется просмотреть сигнал для R_1 ? С помощью стандартного пассивного пробника 10:1, который уже использовался в лабораторной работе, можно измерять входное напряжение относительно заземления, используя один канал осциллографа, и выходное напряжение относительно заземления, используя другой канал осциллографа. Но при этом невозможно выполнить измерения для R_1 , поскольку ни один из концов не позволяет изменить напряжение относительно заземления. Одним из решений является использование специального, но дорогого дифференциального активного пробника. Другое решение состоит в использовании математической функции осциллографа "A-B" для создания специального математического сигнала, который представляет собой разницу между сигналами каналов 1 и 2. Преподаватель/лаборант в будущем может назначить выполнение подобного эксперимента с использованием внешнего генератора функций вместе с пассивными и/или активными компонентами. Но сейчас будем использовать встроенный сигнал компенсации пробника осциллографа, чтобы узнать, как использовать математические функции сигналов на осциллографе.

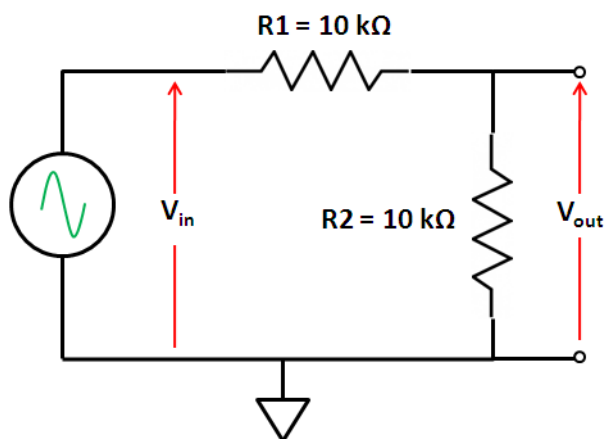


Рис. 25 Цепь делителей напряжения с двумя резисторами

- 1 Подключите один пробник осциллографа к входу BNC канала 1 и контакту с подписью «**Probe Comp**» (Компенсация пробника). Подключите зажим заземления пробника к контакту заземления.
- 2 Подключите другой пробник осциллографа к входу BNC канала 2 и контакту с подписью «**Probe Comp**» (Компенсация пробника). Подключите зажим заземления пробника к контакту заземления.
- 3 На лицевой панели осциллографа нажмите клавишу [**Default Setup**] **Настройка по умолчанию**.
- 4 Чтобы включить канал 2, нажмите на лицевой панели клавишу [**2**] (между двумя зелеными ручками).
- 5 Установите временную развертку осциллографа **200,0 мс/дел**.
- 6 Чтобы автоматически установить уровень запуска приблизительно на **50 %**, нажмите ручку уровня запуска.
- 7 Отрегулируйте положение отклонения канала 2 (зеленая ручка меньшего размера), чтобы сигнал канала 2 (зеленая кривая) располагался в нижней половине дисплея. Убедитесь в том, что верхняя часть зеленой кривой сигнала располагается немного ниже центра экрана.
- 8 Отрегулируйте положение отклонения канала 1 (желтая ручка меньшего размера), чтобы изменить положение сигнала канала 1 так, чтобы нижняя часть сигнала канала 1 располагалась немного выше центра экрана.
- 9 На лицевой панели нажмите клавишу [**Math**] **Математический** (между клавишами включения/выключения каналов 1 и 2).
- 10 Если верхняя программная кнопка выбора имеет метку **2/2** (меню 2 из 2), нажмите эту программную кнопку, чтобы переключиться на значение **1/2** (меню 1 из 2).
- 11 Нажмите программную кнопку **Оператор**, затем поверните ручку **ввода**, чтобы выделить параметр **A-B**, а затем нажмите ручку **ввода**, чтобы сделать выбор.

Вид на дисплее осциллографа теперь должен соответствовать Рис. 26. Если компенсация пробников была выполнена надлежащим образом, математический сигнал (фиолетовая кривая), который представляет собой разницу между каналами 1 и 2, должен отображаться в виде прямой линии 0 В. Поскольку оба канала осциллографа регистрируют один сигнал, результат будет равен нулю.

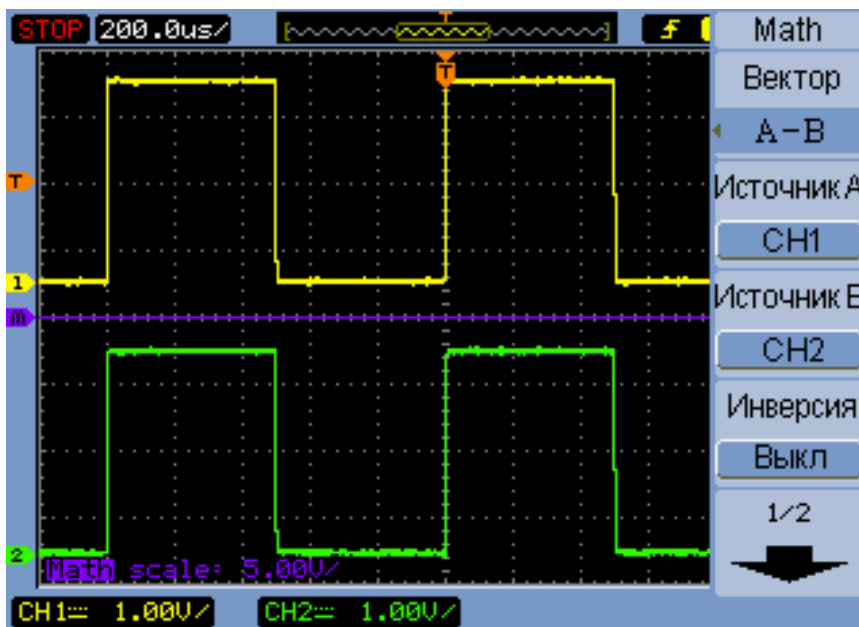


Рис. 26 Применение операции вычитания сигнала на канале 2 из сигнала на канале 1

Чтобы сделать это дифференциальное измерение более интересным, попробуйте нарушить регулировку компенсации одного из пробников (пробника канала 1 или пробника канала 2). При этом появится разница между этими двумя входными сигналами. Изображение на дисплее осциллографа теперь должно соответствовать Рис. 27.

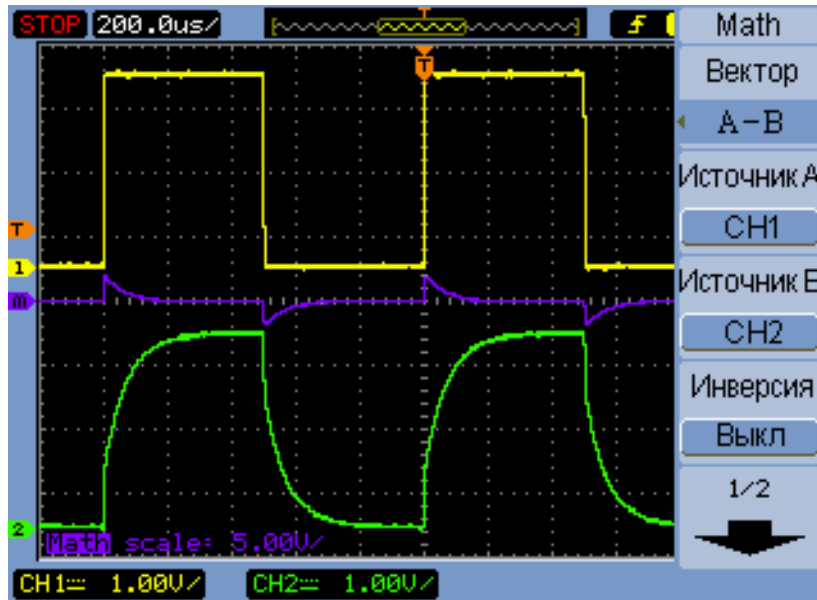


Рис. 27 Создание разницы между сигналом канала 1 и сигналом канала 2

Обратите внимание, что масштабирование математического сигнала по умолчанию (**5,00 В/дел**) отличается от масштабирования сигналов канала 1 и канала 2 (**1,00 В/дел**). Можно изменить масштабирование математического сигнала и его смещение/расположение в меню уровня **2/2** (меню 2 из 2).

Теперь выполните правильную регулировку компенсации пробника, прежде чем, как приступить к следующему измерению.

Теперь выполним более сложную математическую функцию только для сигнала канала 1. Преобразуем сигнал канала 1 из сигнала временных интервалов в сигнал частот, используя основную функцию быстрого преобразования Фурье (БПФ).

- 12** На лицевой панели нажимайте клавишу **[2]** ВКЛ/ВЫКЛ, пока сигнал канала 2 (зеленая кривая) не будет отключен.
- 13** Задайте для масштаба отображения по вертикали для канала 1 (желтая ручка большего размера) значение **500 мВ/дел**.
- 14** Измените расположение сигнала канала 1 так, чтобы он находился по центру дисплея (желтая ручка меньшего размера).
- 15** Установите для параметра временной развертки (большая ручка "Horizontal" [Горизонталь]) значение **1,000 мс/дел**.
- 16** На лицевой панели нажмите клавишу **[Math]** Математический.
- 17** Нажмите программную кнопку **Оператор**, затем поверните ручку **ввода**, чтобы выделить параметр **[FFT]** БПФ, а затем нажмите ручку **ввода**, чтобы сделать выбор.

Вид на экране должен соответствовать Рис. 28. На экране осциллографа теперь отображается сигнал временных интервалов (график зависимости напряжения в вольтах от времени) и сигнал области частот (зависимость среднеквадратичного значения амплитуды в вольта от частоты). Обратите внимание, что масштабирование частоты по горизонтали будет отличаться при использовании осциллографов серии DSO1000A.

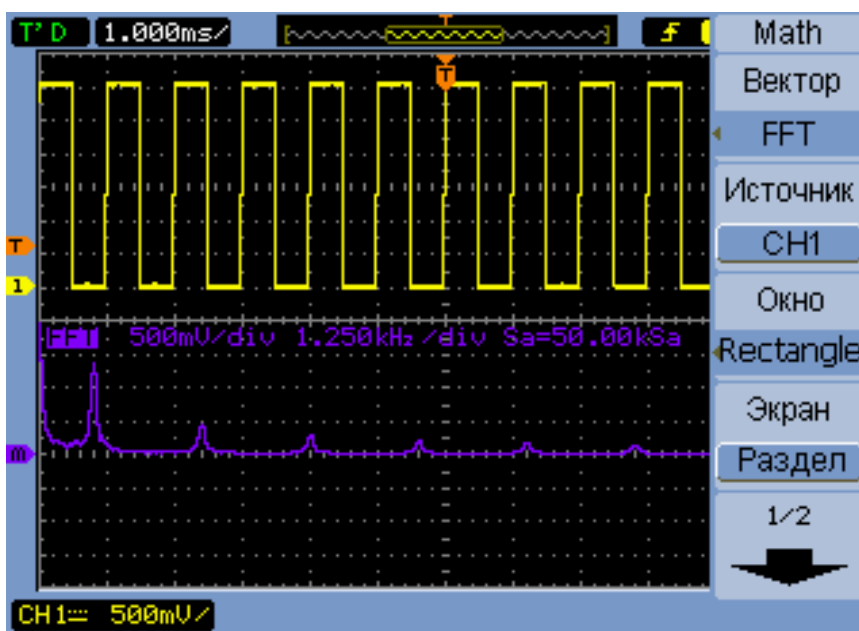


Рис. 28 Применение операции вычитания сигнала на канале 2 из сигнала на канале 1

Математическая функция БПФ производит разложение сигналов до отдельных частотных составляющих синусоидальных волн. Как известно из курсов по электротехнике и физике, все электрические сигналы, в том числе цифровые, состоят из множества синусоидальных волн разных частот. Идеальный тактовый сигнал с рабочим циклом 50% должен состоять из основной частоты составляющей синусоидальной волны (повторяющаяся частота сигнала) и нечетных гармоник (3, 5, 7-й и т. д.). Неидеальные прямоугольные волны также включают в себя четные гармоники более низких уровней. Теперь определим частоты основной и нечетных гармоник этого входного сигнала.

18 На лицевой панели нажмите клавишу [**Cursors**] **Курсоры**.

19 Нажмите программную кнопку **Режим**, затем поверните ручку **ввода**, чтобы выделить параметр **Слежение**, а затем нажмите ручку **ввода**, чтобы сделать выбор.

Обратите внимание, что в лабораторной работе № 1 курсоры использовались для измерения напряжения и времен, при этом выполнялась настройка курсора вручную. В режиме настройки курсоров вручную можно независимо управлять настройками курсоров по вертикали (Y) и по горизонтали (X). Когда выбран режим

курсов “Слежение”, можно управлять только настройками курсоров по горизонтали. Осциллограф затем автоматически свяжет расположение курсоров амплитуды с расположением сигнала в той точке, где курсоры времени пересекаются с сигналом. Теперь назначим курсоры для отслеживания и выполнения измерений для сигнала БПФ.

- 20 Нажмите программную кнопку **CurA**, затем поверните ручку **ввода**, чтобы выделить параметр **Math**, а затем нажмите ручку **ввода**, чтобы сделать выбор.
- 21 Нажмите программную кнопку **CurB**, затем поверните ручку **ввода**, чтобы выделить параметр **Math**, а затем нажмите ручку **ввода**, чтобы сделать выбор.
- 22 Нажмите программную клавишу **CurA**—, поворачивайте ручку **ввода**, пока отслеживающий курсор в виде перекрестия не расположится в самой верхней точке кривой частоты (в левой части экрана).
- 23 Нажмите программную клавишу **CurB**—, поворачивайте ручку **ввода**, пока отслеживающий курсор в виде перекрестия не расположится на второй самой верхней точке кривой частоты.

Изображение на дисплее осциллографа теперь должен быть похожим на то, что показано на **Рис. 29**.

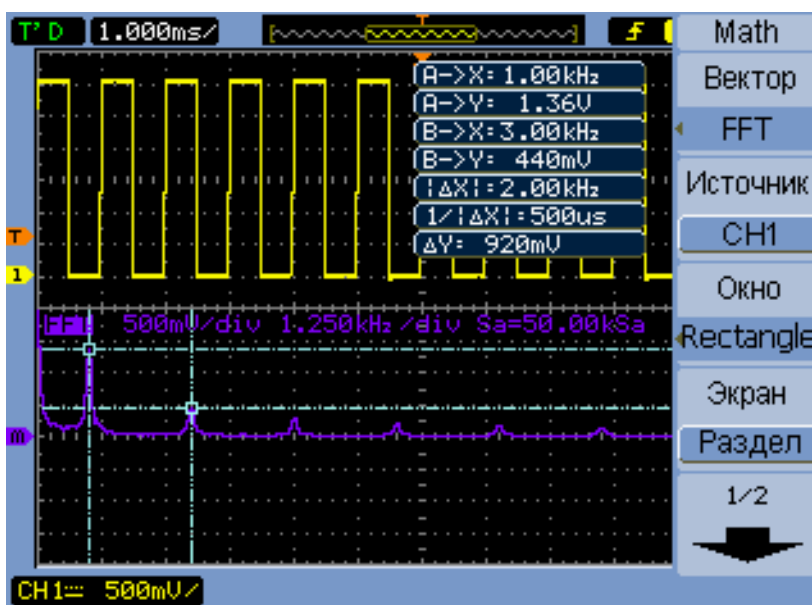


Рис. 29 Использование отслеживающих курсоров для выполнения измерений для сигнала БПФ

- 24 Определите частоту “A -> X”, которая является основополагающим компонентом.

$$F1 = \underline{\hspace{2cm}}$$

2 Лабораторные работы по ознакомлению с осциллографом

25 Определите частоту "В -> X", которая является третьей гармоникой.

F3 = _____

Лабораторная работа № 7. Использование режима масштабирования осциллографа

Большинство осциллографов имеют два режима временной развертки. Это означает, что они способны отображать сигналы на основе двух разных настроек отклонения (с/дел). До сих пор нами использовался основной режим временной развертки осциллографа. Второй режим временной развертки обычно называется масштабированием изображения по горизонтали. Если преподаватель/лаборант ранее использовал старые аналоговые осциллографы, то очень часто этот второй режим временной развертки назывался отложенной временной разверткой. Когда включено масштабирование изображения, можно не только просматривать сигналы с использованием двух разных настроек, но также можно выполнять стробированные или выборочные измерения.

- 1 Подключите пробник осциллографа к входу BNC канала 1 и контакту с подписью «**Probe Comp**» (Компенсация пробника). Подключите зажим заземления пробника к контакту заземления.
- 2 На лицевой панели нажмите клавишу [**Default Setup**] **Настройка по умолчанию**.
- 3 Установите для временной развертки осциллографа (большая ручка “Horizontal” [Горизонталь]) значение **200,0 ?с/дел**.
- 4 Чтобы автоматически задать для уровня запуска значение приблизительно **50 %**, нажмите ручку уровня запуска.
- 5 Задайте для масштаба отображения по вертикали для канала 1 значение **500 мВ/дел**, используя желтую ручку большего размера.
- 6 Расположите сигнал по центру экрана с помощью желтой ручки меньшего размера.
- 7 На лицевой панели нажмите клавишу [**Meas**] **Измерение**. На осциллографах серии DSO1000A эта клавиша на лицевой панели имеет метку [**Measure**] **Измерение**.
- 8 Нажмите программную кнопку **Время**, затем поверните ручку **ввода**, чтобы выделить параметр **Время нарастания**, а затем нажмите ручку **ввода**, чтобы сделать выбор.

Изображение на дисплее осциллографа теперь должен быть похожим на то, что показано на **Рис. 30**. Обратите внимание, что для параметра “Время нарастания”, отображающегося в нижней части экрана, возможен, отображается значение “<40 мс”. Но также может отображаться значение “20 мс” при использовании осциллографов серии DSO1000A. При использовании данной настройки временной развертки (200,0 ?с/дел) горизонтальное разрешение дисплея осциллографа недостаточно для выполнения точных измерений на этом быстром переднем фронте. Если детали этого быстрого переднего фронта визуально не просматриваются, то осциллограф также не сможет их отобразить. Теперь включим режим масштабирования по горизонтали, чтобы выполнить более точные стробированные измерения на данном фронте.

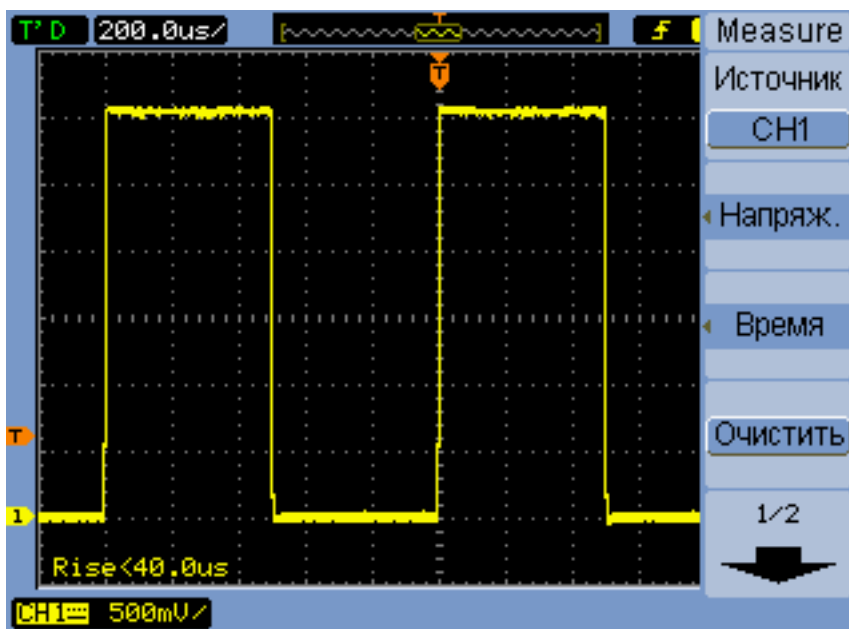


Рис. 30 Выполнение измерения времени нарастания при плохом разрешении

- 9 Нажмите большую ручку “Horizontal” [Горизонталь], чтобы включить режим масштабирования осциллографа.
- 10 Поверните большую ручку “Horizontal” [Горизонталь], чтобы задать для временной развертки масштабирования значение **5,000 ?с/дел** (отображается белыми символами в нижней части дисплея).

Изображение на дисплее осциллографа теперь должно соответствовать **Рис. 31**. Теперь осциллограф должен выполнить более точные измерения времени на этом быстром переднем фронте. Когда включен режим масштабирования осциллографа, можно видеть крупное изображение и более детальное изображение на одном дисплее. Также можно выполнить более точные измерения времени при просмотре крупного изображения. Режим масштабирования изображения также позволяет выбрать фронт и сигнал для выполнения измерений.

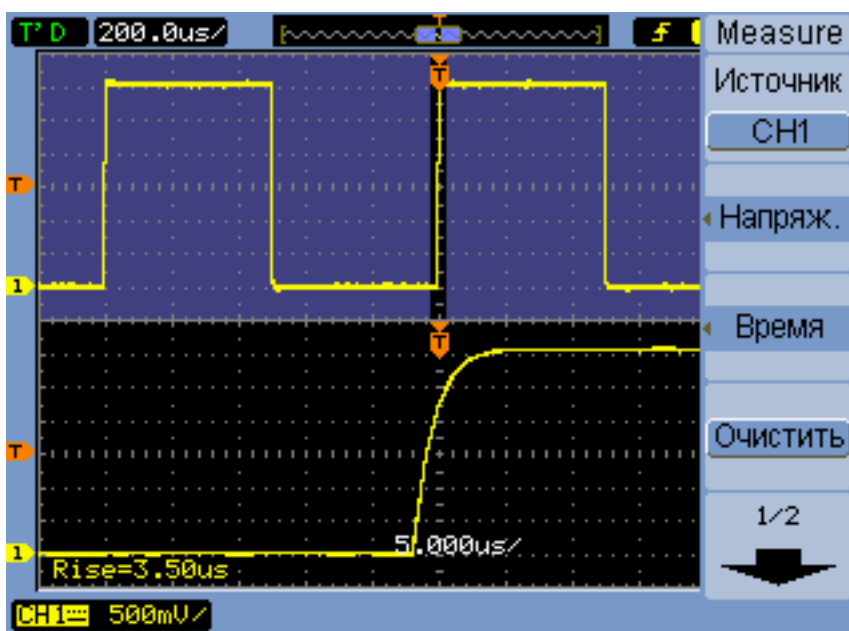


Рис. 31 Выполнение точного стробированного измерения времени нарастания с использованием режима масштабирования осциллографа

2 Лабораторные работы по ознакомлению с осциллографом

3 Резюме

Список литературы Keysight / 56

После выполнения всех лабораторных работ данного лабораторного руководства по осциллографам и учебного пособия вы, надеемся, стали хорошо разбираться в устройстве и функциях осциллографа. Это позволит не только более эффективно выполнять указанные лабораторные работы с более глубоким пониманием лежащих в основе теоретических принципов электротехники и физики, но и после завершения обучения, когда вы начнете работать и использовать осциллографы для проверки схем, вы сможете налаживать их быстрее и быстрее выпускать продукты на рынок. Если вы хотите подробнее узнать об осциллографах и принципах измерения с помощью осциллографа, обратитесь к следующей странице, где приведен список разнообразных указаний по применению, составленный компанией Keysight.

Список литературы Keysight

Table 1 Список литературы Keysight

Название публикации	Тип публикации	Номер публикации
Изучение основных принципов работы осциллографа	Приложение	5989-8064EN
Выбор полосы пропускания осциллографов для конкретной области применения	Приложение	5989-5733EN
Эксперименты с нагрузкой пробников осциллографа	Приложение	5990-9175EN
Сравнение частоты и точности дискретизации осциллографа	Приложение	5989-5732EN
Сравнение осциллографов по скорости обновления сигналов	Приложение	5989-7885EN
Сравнение характеристик вертикального шума осциллографов	Приложение	5989-3020EN
Сравнение осциллографов по качеству изображения	Приложение	5989-2003EN
Сравнение осциллографов для отладки схем смешанных сигналов	Приложение	5989-3702EN

Чтобы загрузить эти документы, вставьте номер публикации в URL-адрес:
<http://literature.cdn.keysight.com/litweb/pdf/xxxx-xxxxEN.pdf>

А Блок-схема и принцип работы осциллографа

Блок-схема DSO / 58

Блок АЦП / 58

Блок аттенюатора / 59

Блок смещения постоянной составляющей / 59

Блок усилителя / 59

Блоки компаратора запуска и логического запуска / 60

Блоки временной развертки и памяти / 61

Блок DSP дисплея / 62

Блок-схема DSO

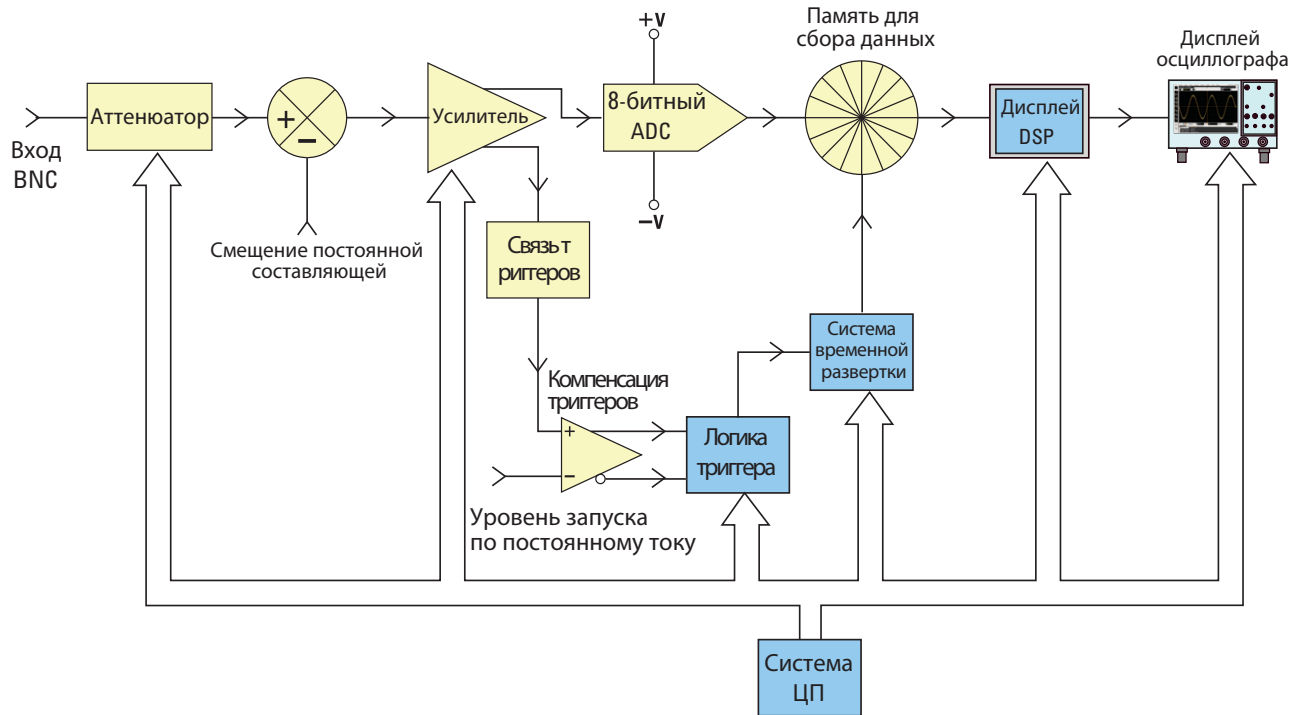


Рис. 32 Блок-схема DSO

На **Рис. 32** показана блок-схема одного канала ввода стандартного цифрового осциллографа с функцией сохранения (DSO). Блоки, закрашенные желтым, являются компонентами системы, которые уникальны для одного канала сбора данных, например канал 1 и канал 2. Блоки, закрашенные синим, являются компонентами системы, которые используются во всех каналах сбора данных, например общая временная развертка осциллографа и система ЦП.

Блок АЦП

АЦП (преобразователь аналогового сигнала в цифровой) находится в середине блок-схемы. Блок АЦП — основной компонент всех осциллографов DSO. Он предназначен для преобразования входного аналогового сигнала в последовательность цифр. В большинстве современных DSO используются 8-битные блоки АЦП, которые обеспечивают 256 уникальных уровней/кодов выходного сигнала. Эти цифровые двоичные коды хранятся в памяти входных данных осциллографа, которая рассмотрена ниже. Если уровень входного аналогового сигнала в АЦП равен или меньше $-V$, то выходной сигнал блока АЦП будет 00000000 (0 в десятичной форме). Если уровень входного аналогового

сигнала в АЦП равен или больше $+V$, то выходной сигнал блока АЦП — 11111111 (255 в десятичной форме). Если уровень входного аналогового сигнала в АЦП равен $0,0 V$, то выходной сигнал блока АЦП — 10000000 (128 в десятичной форме).

Для достижения наибольшего разрешения и выполнения точных измерений входной сигнал в АЦП должен быть масштабирован в своем динамическом диапазоне $\pm V$. Несмотря на то, что у АЦП входной динамический диапазон ограничен и фиксирован в зависимости от опорных напряжений АЦП ($\pm V$), осциллографы должны регистрировать широкий динамический диапазон сигналов, в том числе входные сигналы высокого и низкого уровней. Масштабирование аналогового входного сигнала АЦП в пределах динамического диапазона АЦП определяется блоками аттенюатора, смещения постоянной составляющей и усилителя, которые рассмотрены ниже.

Блок аттенюатора

В основу блока аттенюатора положена схема резисторных делителей, которая предназначена для масштабирования входного сигнала в пределах динамического диапазона аналогового усилителя с переменным усилением и АЦП. Если поступает входной сигнал высокого уровня, например с двойной амплитудой $40 V$, то уровень сигнала должен быть уменьшен (ослаблен). Если поступает входной сигнал низкого уровня, например с двойной амплитудой $10 mV$, то он проходит через усилитель без изменения (1:1). При изменении настройки В/дел осциллографа раздаются щелчки. Они возникают при переключении механических реле между сетями резисторных делителей. Кроме того, с помощью блока аттенюатора пользователь может переключить входной импеданс ($1 M\Omega$ или 50Ω) и связь входа переменного и постоянного тока.

Блок смещения постоянной составляющей

Если входной сигнал представляет собой со смещением постоянной составляющей, например цифровой сигнал, уровень которого колеблется в диапазоне от 0 до $5 V$, и его нужно вывести по центру дисплея, то к нему необходимо добавить внутреннее смещение постоянной составляющей противоположной полярности, чтобы сместить входной сигнал в пределах динамического диапазона АЦП. В качестве альтернативы можно выбрать связь по переменному току, чтобы устранить компонент постоянного тока входного сигнала.

Блок усилителя

Последним этапом обработки аналогового сигнала при масштабировании входного сигнала в пределах динамического диапазона системы АЦП является его прохождение через усилитель осциллографа с переменным усилением. Если поступает входной сигнал очень низкого уровня, то обычно нужно задать довольно

низкое значение В/дел. При низком значении В/дел на этапе прохождения сигнала через усилитель аттенюатора не произойдет его затухания (усиление = 1), затем усилитель увеличит (усиление > 1) амплитуду сигнала, чтобы использовать весь динамический диапазон АЦП. Если поступает входной сигнал очень высокого уровня, то обычно нужно задать довольно высокое значение В/дел. При высоком значении В/дел на этапе прохождения сигнала через аттенюатор произойдет его ослабление (усиление < 1) настолько, чтобы он находился в пределах динамического диапазона усилителя, затем усилитель может еще ослабить сигнал (усиление < 1) так, чтобы он находился в пределах динамического диапазона АЦП.

Если выбрано конкретное значение В/дел, то осциллограф автоматически определит требуемые величины затухания в блоке аттенюатора и усиления (или, возможно, дополнительного затухания) в блоке усилителя. Можно представить блок аттенюатора, блок смещения составляющей постоянного тока и блок усилителя в виде одного условного блока преобразования входного аналогового сигнала, который выполняет линейное преобразование сигнала, представляющего входной сигнал таким образом, чтобы он оставался в пределах динамического диапазона блок АЦП, в зависимости от настройки В/дел и смещения конкретного канала осциллографа.

Блоки компаратора запуска и логического запуска

Блоки триггера-компаратора и логической схемы триггера предназначены для определения уникального момента времени внутри входного сигнала (или комбинации нескольких входных сигналов), по которому должны синхронизироваться входные данные. После выполнения лабораторной работы № 2 (Изучение основ синхронизации осциллографа) этого руководства вы узнаете, что такое запуск (синхронизация).

Пусть входной сигнал представляет собой синусоидальную волну, для которой необходимо установить запуск на переднем фронте при уровне 50%. В этом случае неинвертированный выходной сигнал компаратора запуска представляет собой прямоугольную волну с рабочим циклом 50%. Если уровень запуска задан больше 50%, то неинвертированный выходной сигнал компаратора запуска будет меньше 50%. И наоборот, если уровень запуска задан меньше 50%, то неинвертированный выходной сигнал компаратора запуска будет больше 50%. Если запуск основан только на пересечении положительных фронтов одиночного канала, то логический блок запуска передает неинвертированный выходной сигнал компаратора запуска в блок временной развертки. Если запуск происходит по отрицательным фронтам одиночного канала, то логический блок запуска передает инвертированный выходной сигнал компаратора запуска в блок временной развертки. В этом случае блок временной развертки использует в качестве уникального момента времени синхронизации передний фронт сигнала запуска. Помимо этого, запуск может зависеть от многих других переменных, например ограничения времени и комбинации входных сигналов из нескольких входных каналов.

Блоки временной развертки и памяти

Блок временной развертки отвечает за выбор начала и окончания выборки АЦП относительно события запуска. Кроме того, блок временной развертки отвечает за частоту дискретизации АЦП, которая зависит от доступной памяти для получения данных и настройки временной развертки. Например, пусть запуск происходит в центре экрана (настройка по умолчанию) при временной развертке 1 мс/дел. Для наглядности примем объем памяти для получения данных осциллографа всего 1000 точек. В этом случае осциллограф использует 500 точек до события запуска и 500 точек после него. При выбранной временной развертке заполнение 1000 точек происходит в течение 10 мс (1 мс/дел

$\times 10$ делений). Даже если максимальная частота дискретизации осциллографа составляет 2 Гпроб/с, при такой временной развертке ее блок снизит частоту непрерывной дискретизации до 100 тыс. проб/с (Частота дискретизации = Память/промежуток времени = 1000 проб/10мс = 100 кпроб/с).

После нажатия кнопки «Пуск» блок временной развертки включает непрерывное сохранение оцифрованных данных в циклическую память осциллографа для получения данных с соответствующей частотой дискретизации (100 кпроб/с). После каждой выборки блок временной развертки увеличивает адрес в буфере циклической памяти для получения данных, кроме этого, он отсчитывает количество выборок до 500 (при объеме памяти в 1000 точек и настройке запуска по центру экрана). Как только блок временной развертки определит, что сохранено не менее 500 выборок (т. е. по крайней мере половина памяти заполнена), он включает запуск и дожидается первого переднего фронта выходного сигнала компаратора запуска (в режиме простого запуска по фронту).

В процессе ожидания запуска, в буфере циклической памяти осциллографа продолжают сохраняться данные. Если событие запуска происходит очень редко, то сохраненные данные могут быть перезаписаны при его ожидании. Это нормально. После обнаружения события запуска блок временной развертки снова начинает отсчет до 500. После сохранения дополнительных 500 выборок блок временной развертки отключает выборку. Т. е. последние 500 сохраненных выборок представляют собой последовательные точки кривой сигнала *после* события запуска, а предыдущие 500 — такие точки *до* события. С этого момента начинает работу блок DSP дисплея.

Помимо запуска по центру экрана, как в этом примере, с помощью элементов управления задержки/положения по горизонтали можно установить точку запуска в любом месте. Например, можно установить задержку, при которой точка запуска находится на 75% длины горизонтальной оси (относительно левой стороны экрана). В этом случае блок временной задержки изначально установит счетчик на 750 точек (при объеме памяти для получения данных в 1000 точек) до события запуска и на 250 точек после него.

Блок DSP дисплея

После завершения сбора данных блок DSP дисплея переводит данные в блоке памяти для получения данных в последовательности «последним поступил первым вышел». Блок DSP дисплея производит не только быструю обработку сохраненных данных цифрового сигнала, например, выполняет фильтр цифровой реконструкции $\text{Sin}(x)/x$, но и передает сохраненные и/или обработанные данные в память пиксельного дисплея осциллографа. После восстановления данных из памяти для сбора данных блок DSP сообщает блоку временной развертки, что он может начинать новый сбор данных.

Осциллографы DSO предыдущих поколений не включали в себя отдельного блока DSP дисплея. Его функции выполняла система ЦП осциллографа, но ее низкая эффективность ограничивала частоту обновления сигнала. С отдельным блоком вывода DSP некоторые современные DSO обеспечивают частоту обновления до 1 000 000 сигналов в секунду.

TIP

Для получения дополнительных сведений по основным принципам работы осциллографов загрузите приложение Keysight с названием *Изучение основных принципов работы осциллографа*. Эта публикация и инструкции по загрузке приведены в разделе [Список литературы Keysight](#) этого руководства.

В Учебное пособие по определению полосы пропускания осциллографа

Определение полосы пропускания осциллографа / 64

Требуемая полоса пропускания для аналоговых сигналов / 66

Требуемая полоса пропускания для цифровых приборов / 67

Сравнение измерений цифровых тактовых сигналов / 70

Существует множество различных характеристик осциллографов, которые определяют точность регистрации и измерения сигналов. Основной характеристикой осциллографа является его полоса пропускания. У осциллографов, которыми пользуются на лабораторных работах студенты электротехнических факультетов, полоса пропускания, вероятно, будет достаточная для большинства, если не всех заданий, назначаемых преподавателем. После окончания учебного заведения

и начала работы в электронной промышленности вам, вполне вероятно, понадобится выбрать осциллограф для проверки схем из доступного набора или провести оценку разных приборов для последующего приобретения. Данное руководство по определению полосы пропускания осциллографа содержит ряд полезных советов по выбору прибора

с подходящей полосой пропускания для измерений цифровых и аналоговых сигналов. Но сначала давайте дадим определение термину “полоса пропускания осциллографа”.

Определение полосы пропускания осциллографа

Все осциллографы обладают амплитудно-низкочастотной характеристикой, которая имеет наклон вниз на высоких частотах, как показано на **Рис. 33**. Большинство осциллографов с характеристикой полосы пропускания 1 ГГц и ниже имеют так называемую Гауссовую амплитудно-частотную характеристику. Гауссова амплитудно-частотная характеристика осциллографа соответствует однополюсному фильтру низких частот, с которым вы, возможно, уже познакомились на курсах по изучению цепей, и может быть даже строили для них диаграммы Боде.

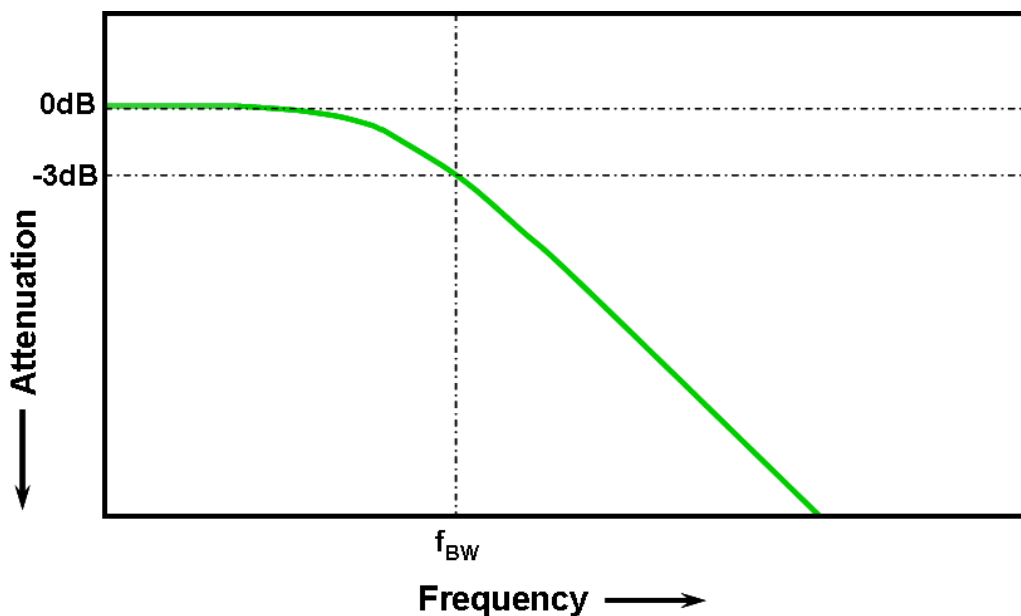


Рис. 33 Гауссова амплитудно-частотная характеристика осциллографа

Самая низкая частота, при которой входной сигнал ослабляется на 3 дБ, называется полосой пропускания осциллографа (f_{BW}). Затухание сигнала в момент -3 дБ соответствует примерно -30% ошибки в амплитуде. Другими словами, если входной сигнал (синусоидальная волна с двойной амплитудой 1 В и частотой 100 МГц) поступает в осциллограф с полосой пропускания 100 МГц, то измеряемая на нем двойная амплитуда будет находиться в диапазоне примерно 700 мВ ($-3 \text{ дБ} = 20 \text{ Log } [0,707/1,0]$). Невозможно выполнить точные измерения сигналов, у которых существенный диапазон частот приходится на частоты, близкие к полосе пропускания осциллографа.

С полосой пропускания осциллографа тесно связана такая характеристика, как время нарастания. Приблизительное время нарастания осциллографа с амплитудно-частотной характеристикой ауссова типа составляет $0,35/f_{BW}$ на основе критерия 10% до 90%. Однако время нарастания осциллографа не является наибольшей скоростью фронта, которую осциллограф может точно измерить. Оно представляет собой наибольшую скорость фронта, которую может создать прибор

при теоретически бесконечно быстром времени нарастания входного сигнала (0 пс). Несмотря на то, что эту теоретическую характеристику невозможно проверить (так как генераторы импульсов не могут создавать бесконечно быстрые фронты), на практике можно измерить время нарастания осциллографа, если подать импульс со скоростями фронтов в 5-10 раз быстрее, чем характеристика времени нарастания прибора.

Требуемая полоса пропускания для аналоговых сигналов

Ранее большинство производителей рекомендовали осциллографы с полосой пропускания по крайней мере в три раза большей, чем максимальная частота входного сигнала. Эту рекомендацию может еще помнить ваш преподаватель. Несмотря на то, что коэффициент 3 не применим к цифровым сигналам, основанным на тактовых частотах и скростях фронтов, он по-прежнему действителен для аналоговых сигналов, например модулированной РЧ. Чтобы понять, откуда возник коэффициент 3, давайте рассмотрим реальную амплитудно-частотную характеристику осциллографа с полосой пропускания 1 ГГц.

На **Рис. 34** показана проверка измеренной амплитудно-частотной характеристики (от 1 МГц до 2 ГГц) для осциллографа Keysight с полосой пропускания 1 ГГц. На графике видно, что при 1 ГГц измеряемый выходной сигнал (кривая на дисплее осциллографа) затухает чуть менее чем на 3 дБ ($V_o/V_i > 0,7$). Чтобы обеспечить точность измерения аналоговых сигналов, их необходимо проводить на относительно плоском участке графика, где затухание минимально. Приблизительно до 1/3 полосы пропускания 1 ГГц осциллографа прибор демонстрирует очень незначительное затухание (-0,2 дБ).

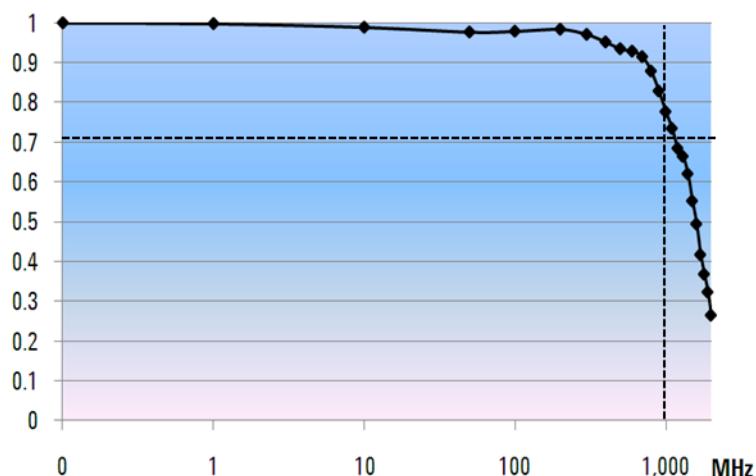


Рис. 34 Реальная амплитудно-частотная характеристика осциллографа с полосой пропускания 1 ГГц осциллографа Keysight

Требуемая полоса пропускания для цифровых приборов

При работе в электронной промышленности в подавляющем большинстве случаев придется иметь дело с цифровыми сигналами. Сейчас цифровые тактовые сигналы и каналы для последовательной передачи данных имеют пропускную способность в несколько гигабит/с.

Практическое правило

На практике можно руководствоваться правилом, согласно которому полоса пропускания осциллографа должна по меньшей мере в 5 раз превышать максимальную тактовую частоту тестируемой цифровой системы. В этом случае прибор может регистрировать даже пятую гармонику с минимальным затуханием сигнала. Эта гармоника очень важна для определения общей формы цифровых сигналов.

$$f_{BW} \geq 5 \times f_{clk}$$

Однако для точных измерений высокоскоростных фронтов эта простая формула не учитывает реальных высокочастотных составляющих, которые присутствуют в быстрых передних и задних фронтах.

Шаг 1. Определение самых быстрых реальных скоростей фронтов

Более точный метод определения требуемой полосы пропускания осциллографа заключается в выявлении максимальной частоты цифровых сигналов, которая не совпадает с максимальной тактовой частотой. Максимальная частота будет зависеть от самых быстрых скоростей фронтов в схемах. Сначала нужно определить время нарастания и спада самых быстрых сигналов. Обычно сведения о них находятся в спецификациях устройств, используемых в схеме.

Шаг 2. Расчет $f_{изл}$

Для определения максимальной и достижимой на практике частотной составляющей используется простая формула. Говард В. Джонсон (Dr. Howard W. Johnson) написал на эту тему книгу: *“High-speed Digital Design – A Handbook of Black Magic”* (Конструирование высокоскоростных цифровых устройств. Начальный курс черной магии).¹ В ней эта частотная составляющая называется частотой излома ($f_{изл}$). У всех быстрых фронтов есть бесконечное множество частотных составляющих. Однако в частотном спектре быстрых фронтов имеется некий излом, где частотные составляющие с частотой, превышающей $f_{изл}$, являются неважными для определения формы сигнала.

$$f_{\text{изл}} = 0,5/RT \text{ (10\% 90\%)}$$

$$f_{\text{изл}} = 0,4/RT \text{ (20\% 80\%)}$$

У сигналов с характеристиками времени нарастания, основанных на порогах от 10% до 90%, $f_{\text{изл}}$ равна 0,5/время нарастания сигнала.

У сигналов с характеристиками времени нарастания, основанных на порога от 20% до 80%, что очень часто встречается в спецификациях на современные приборы, $f_{\text{изл}}$ равна 0,4/время нарастания сигнала. Не путайте эти значения времени нарастания с определенным в осциллографе временем нарастания. Сейчас речь идет о скоростях фронтов реальных сигналов.

Шаг 3. Расчет полосы пропускания осциллографа

На данном этапе выполним расчет полосы пропускания, которая требуется для измерения этого сигнала на основании нужной точности при определении времени нарастания и спада. В **Table 2** приведены коэффициенты для осциллографов с Гауссовой амплитудно-частотной характеристикой при разных степенях точности.

Table 2 Коэффициенты для определения требуемой полосы пропускания осциллографа с нужной точностью

Требуемая точность	Требуемая полоса пропускания
20%	$f_{BW} = 1,0 \times f_{\text{изл}}$
10%	$f_{BW} = 1,3 \times f_{\text{изл}}$
3%	$f_{BW} = 1,9 \times f_{\text{изл}}$

Пример

Рассмотрим следующий пример.

Определим минимальную требуемую полосу пропускания осциллографа со схожей Гауссовой амплитудно-частотной характеристикой, чтобы измерить время нарастания 1 нс (10-90%)

Если примерное время нарастания/спада сигнала составляет 1 нс (на основании критерия 10-90%), то максимальная частотная составляющая ($f_{\text{изл}}$) в сигнале, которая важна на практике, будет составлять около 500 МГц.

$$f_{\text{изл}} = 0,5/1 \text{ нс} = 500 \text{ МГц}$$

Если при проведении параметрических измерений времени нарастания и спада ошибки синхронизации до 20% допустимы, то для измерения цифровых сигналов можно использовать осциллограф с полосой пропускания 500 МГц. Но если требуется погрешность во времени не более 3%, то лучше выбрать прибор с полосой пропускания 1 ГГц.

Точность синхронизации 20%:
Полоса пропускания осциллографа = 1,0 x
500 МГц = 500 МГц

Точность синхронизации 3%:
Полоса пропускания осциллографа = 1,9 x
500 МГц = 950 МГц

Теперь выполним несколько измерений цифрового тактового сигнала с характеристиками, схожими с этим примеом, используя осциллограф с разными полосами пропускания.

Сравнение измерений цифровых тактовых сигналов

На **Рис. 35** показаны результаты измерения цифрового сигнала с частотой дискретизации 100 МГц с быстрыми скоростями фронтов при использовании осциллографа с частотой пропускания 100 МГц. Как можно видеть на рисунке, осциллограф просто пропускает без изменений основную частотную составляющую 100 МГц этого тактового сигнала и он похож на синусоидальную волну. Полоса пропускания 100 МГц подходит для многих 8-битных схем на базе MCU с тактовыми частотами от 10 МГц до 20 МГц, однако такой полосы пропускания абсолютно недостаточно для данного цифрового тактового сигнала 100 МГц.

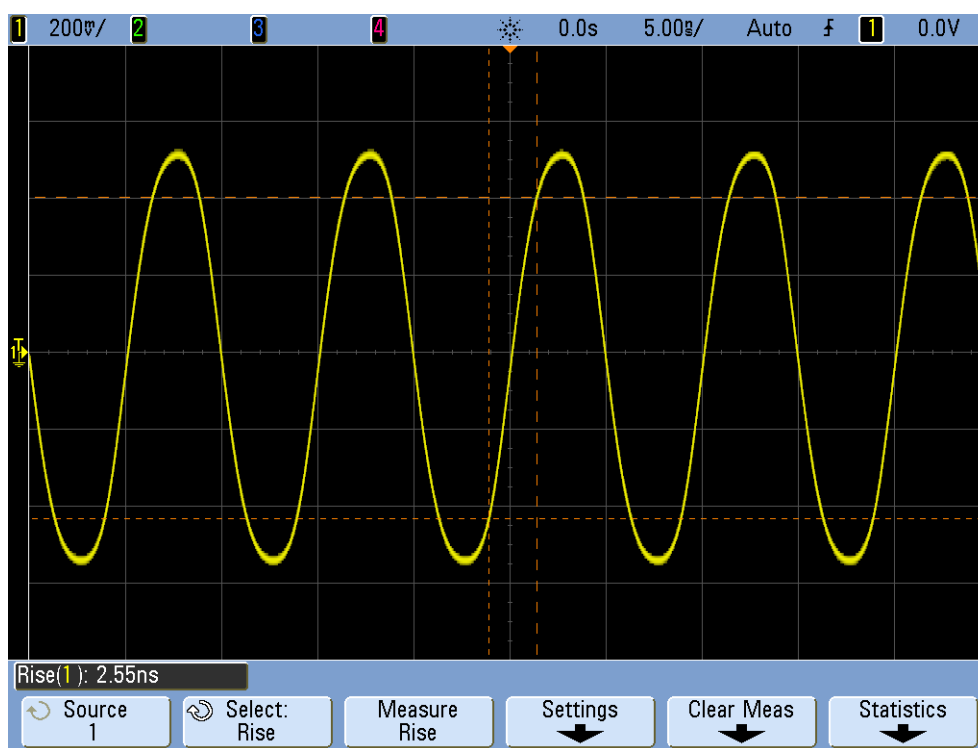


Рис. 35 Цифровой тактовый сигнал 100 МГц, зарегистрированный осциллографом с полосой пропускания 100 МГц

Осциллограф с полосой пропускания 500 МГц может регистрировать все составляющие вплоть до пятой гармоники, что является первой практической рекомендацией, это показано на **Рис. 36**. Однако при измерении времени нарастания осциллограф покажет около 750 пс. Иными словами, этот прибор не подходит для очень точного измерения времени нарастания данного сигнала. Этот осциллограф определил величин, близкую к его собственному времени нарастания (700 пс), а не время нарастания входного сигнала, близкое к 500 пс. Если измерения значений времени являются важными, то для этого цифрового сигнала потребуется осциллограф с большей полосой пропускания.

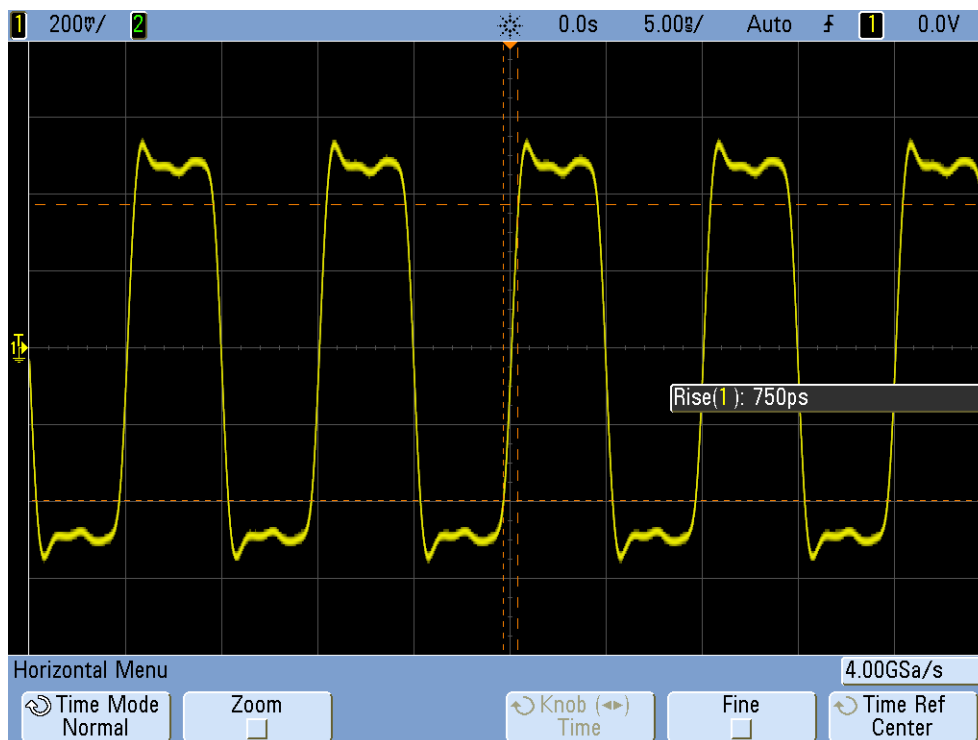


Рис. 36 Цифровой тактовый сигнал 100 МГц, зарегистрированный осциллографом с полосой пропускания 500 МГц

Если использовать осциллограф с полосой пропускания 1 ГГц для регистрации цифрового тактового сигнала 100 МГц, то представление сигнала будет гораздо более точным, как показано на Рис. 37. Можно измерить более высокие значения времени нарастания и спада, наблюдаются меньшее отклонение и даже два уловимые отражения, которые скрывал осциллограф с меньшей полосой пропускания.

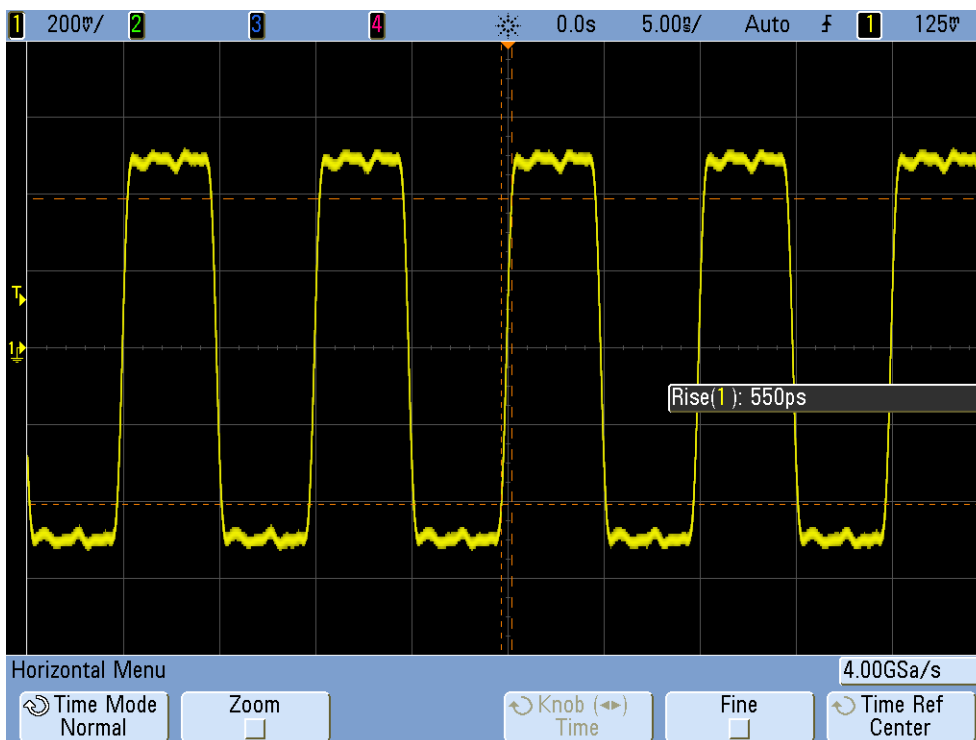


Рис. 37 Цифровой тактовый сигнал 100 МГц, зарегистрированный осциллографом с полосой пропускания 1 ГГц

В этом учебном пособии по определению полосы пропускания осциллографа основное внимание уделено осциллографам с Гауссовой амплитудно-частотной характеристикой, которая обычно имеется у приборов с полосой пропускания 1 ГГц и ниже. У многих осциллографов с большей полосой пропускания амплитудно-частотная характеристика обладает более резким спадом. С такой характеристикой частоты, находящиеся внутри полосы пропускания (ниже -3 дБ), затухают меньше, а те, что находятся вне ее (выше -3 дБ), ослабевают в большей степени. Такой тип амплитудно-частотной характеристики, который начинается с идеального фильтра, иногда называют максимально плоской амплитудно-частотной характеристикой. Для расчета требуемой полосы пропускания (> 1 ГГц) таких осциллографов используются другие формулы. Дополнительные сведения по полосе пропускания осциллографа можно найти в загружаемом приложении Keysight “Выбор полосы пропускания осциллографов для конкретной области применения”. Эта публикация и инструкции по загрузке приведены в разделе “Список литературы Keysight” этого руководства.

¹ High-Speed Digital Design, A Handbook of Black Magic, Howard Johnson, Martin Graham, 1993, Prentice Hall PTD, Prentice-Hall, Inc, Upper Saddle River, New Jersey 07458

Указатель

D

DSO, 7

Z

аналоговые осциллографы, 7
введение, 3
верньер, 17
внутренняя/паразитная емкость, 32
выборочные измерения, 51
динамический диапазон, 10
дифференциальный активный
пробник, 9
длительность импульса, 19
емкость компенсации, 35
емкость нагрузки, 37
заводская конфигурация, 17
значение двойной амплитуды
напряжения, 19
значения, разделенные запятыми, 42
измерение с помощью
осциллографа, 9
измерение, осциллограф, 9
инициированный режим
развертки, 28
компенсация пробника, 33
компенсация, пробник, 32
контакты Probe Comp, 16
коэффициент затухания пробника, 10
коэффициент затухания, пробник, 11
коэффициенты затухания пробника, 17
курсоры, 19
литература, список Keysight, 56
масштабирование изображения, 51
математическая функция для
сигналов, 44
нагрузка пробников, 36
настройка, компенсация пробника, 34
опорные сигналы, 41
основная временная развертка, 51
осциллограф, 7
отложенная временная развертка, 51
паразитные емкости, 32
пассивные пробники 10
:1 напряжения, 9
период, 19
подсчет делений, 22
Примечание для преподавателя
электротехнического и
физического факультетов, 4
программные кнопки, 14
режим запуска, 27

режим развертки, 27
ручка ввода, 14
синхронизация, 24
сообщение "Wait", 28
сообщение AUTO, 26
стробированные измерения, 51
точная настройка, 17
уровень заземления, 19
цепь делителей напряжения, 44
цифровой осциллограф с функцией
памяти, 7
частота, 19
электрическая схема пассивного
пробника 10:1, 9
элемент управления/ручка уровня
запуска, 13
элементы управления "Коеф.
отклонения", 12
Элементы управления разверткой, 12



This information is subject to change without notice.

© Keysight Technologies, Inc.
2008-2012

Только в электронном формате
Май 2012 г.



54136-97009
www.keysight.com